# COMPTES RENDUS

## DES SÉANCES

# DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

### SÉANCE DU LUNDI 16 MARS 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTRAND.

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Président de l'Institut** invite l'Académie à désigner l'un de ses Membres pour la représenter, comme lecteur, dans la prochaine séance trimestrielle, qui doit avoir lieu le mercredi 8 avril 1874.

M. le **Secrétaire perpétuel** annonce à l'Académie que la première partie du tome XLI de ses Mémoires (Recueil des Mémoires, Rapports et documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil) est en distribution au Secrétariat.

GÉOMÉTRIE. — *Note sur l'emploi des lames flexibles pour le tracé d'arcs de courbe d'un grand diamètre;* par M. **H. Resal.**

« Quelles que soient les conditions auxquelles doit satisfaire le tracé d'un arc de cercle, on peut toujours, soit graphiquement, soit par le calcul, fixer la position de trois points par lesquels on est ramené à faire passer cet arc.

» Mais, si le rayon est très-grand et la corde relativement petite, la détermination du centre laisse à désirer au point de vue de l'exactitude; il faut, en effet, avoir à sa disposition une table de dessin d'une grande éten-

due; de plus, l'intersection des perpendiculaires menées aux milieux de deux cordes ne donne qu'approximativement la position du centre, position qu'on ne fixe définitivement qu'à la suite de tâtonnements plus ou moins longs et fort ennuyeux. Enfin l'emploi de compas de grandes dimensions ou de règles à pivot, munies d'un crayon ou d'un tire-ligne, laisse aussi à désirer sous le rapport de la précision. C'est ce qui explique pourquoi, dans la confection des mappemondes, on trace par points les parallèles voisins de l'équateur et les méridiens.

» M. Tchebychef, si je ne me trompe, a eu, le premier, l'idée d'éluder ces difficultés, en construisant un instrument, que plusieurs Membres de l'Académie ont été à même d'apprécier, lorsque, il y a quelques mois, notre savant Correspondant de Saint-Pétersbourg est venu nous faire une gracieuse visite. Cet instrument se compose, en principe, d'une lame élastique; au moyen d'un mécanisme particulier, on fait fléchir cette lame de telle manière que, quelle que soit la flèche, son profil ait (suivant M. Tchebychef) huit points communs avec un arc de cercle auquel on peut substituer ce profil par approximation.

» Si une lame élastique est encastrée dans deux pièces, mobiles à volonté autour de deux axes variables, il est facile de voir qu'en faisant tourner en sens inverse les encastrements d'un même angle, le profil de la lame est un arc de cercle; car, en raison de la symétrie, les encastrements ne donnent lieu qu'à deux couples de sens contraire. L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie réalise cette conception et est beaucoup plus simple que celui de M. Tchebychef. Il a été construit à Casamène, d'après mes indications, sous l'habile direction de MM. Guillemin et Minary, ingénieurs de la Compagnie des forges de Comté. C'est grâce à l'obligeance, bien connue de plusieurs d'entre nous, de M. Dugoujon, que j'ai pu me procurer des lames convenables.

» Chacun des encastrements de la lame est formé d'une traverse horizontale pouvant tourner autour d'un axe vertical. En dessous de cette traverse, et vers ses extrémités, se trouvent deux roulettes à axe vertical. On engage la lame entre les quatre roulettes, après avoir réglé la position relative des encastrements, comme je l'indiquerai plus loin. Les axes sont maintenus dans une pièce horizontale, au-dessous de laquelle se trouvent les encastrements, et qui repose sur trois pieds. Aux extrémités supérieures des axes sont adaptées deux roues dentées identiques engrenant avec une vis sans fin dont l'axe passe entre les deux roues.

» Les guides de la vis sans fin sont maintenus sur le support par des vis

de pression qui permettent de la désembrayer, lorsqu'on veut régler la position des encastrements avant la mise en place de la lame; il suffit, à cet effet, de faire en sorte que les quatre galets soient tangents à une règle disposée en conséquence; on engrène ensuite la vis sans fin, puis on serre les vis de pression.

» L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, où l'écartement des axes est de $0^m,25$, permet de tracer très-exactement des arcs de cercle de $0^m,30$ à 2 mètres de diamètre, comme je l'ai constaté dans un grand nombre de cas. »

THERMOCHIMIE. — *Recherches sur l'isomérie symétrique et sur les quatre acides tartriques;* par MM. **Berthelot** et **Jungfleisch**.

« 1. On connaît les beaux travaux de M. Pasteur sur la dissymétrie moléculaire, regardée pendant si longtemps comme propre aux substances formées sous l'influence de la vie, et la découverte par ce savant des quatre acides tartriques isomères, l'acide droit, l'acide gauche, l'acide neutre (paratartrique ou racémique) et l'acide inactif, types généraux de l'isomérie symétrique. L'un de nous, M. Jungfleisch, a eu occasion de préparer ces quatre acides en grande quantité, dans le cours des expériences qui l'ont conduit à former les deux acides tartriques, doués du pouvoir rotatoire, au moyen de composés artificiels, tels que le gaz oléfiant, susceptibles d'être obtenus eux-mêmes par la synthèse totale de leurs éléments.

» Nous avons pensé qu'il y avait quelque intérêt à mesurer par les méthodes thermiques le travail qui s'accomplit dans la combinaison de l'acide tartrique droit avec l'acide tartrique gauche, pour constituer l'acide racémique. M. Pasteur a montré que cette combinaison s'effectue lorsqu'on mélange les solutions concentrées des deux premiers acides : l'acide racémique cristallise aussitôt, non sans dégagement de chaleur. Cette observation prouve en même temps que l'acide racémique est moins soluble dans l'eau que ses composants. Mais la chaleur dégagée résulte-t-elle de la combinaison proprement dite, ou bien du changement d'état qui transforme deux corps dissous en un composé solide? ou bien enfin est-elle due à cette circonstance que l'acide racémique, au moment même où il cristallise, s'unit avec 2 équivalents d'eau, pour constituer une combinaison ultérieure : $C^8H^6O^{12}, 2HO$? C'est ce que l'expérience citée ne décide point et ce que nous allons examiner.

» 2. *Chaleur de solution de l'acide tartrique droit.* — Nous avons déter-

miné d'abord la quantité de chaleur absorbée lorsque 10 grammes d'acide tartrique droit se dissolvent dans 400 grammes d'eau, à la température initiale de 9°,7. Nous avons trouvé que la dissolution d'une molécule, $C^8H^6O^{12} = 150$ grammes, absorbe — 3,275.

» Ce nombre est un peu plus faible que la valeur — 3,450, donnée par l'un de nous dans des observations précédentes; mais elle avait été obtenue avec une concentration moindre (1 partie d'acide pour 50 parties d'eau) et à une température plus élevée (+ 21 degrés). Ramenée à la même concentration, cette valeur devient — 3,410, et l'écart qui subsiste avec — 3,275 s'explique par l'inégalité des températures; d'après la formule générale applicable à toute réaction, et qui donne la variation de la chaleur Q dégagée aux températures T et $t$ (*),

$$Q_T - Q_t = U - V.$$

Dans le cas présent en particulier,

$$U - V = (\Sigma c - \Sigma c_1)(T - t).$$

» $\Sigma c$ représentant la somme des chaleurs spécifiques moléculaires des composants, l'acide tartrique et l'eau, soit $43,2 + 18n$ pour une molécule d'acide tartrique (**) et $18n$ parties d'eau,

» $\Sigma c_1$ représente la chaleur spécifique moléculaire de la dissolution, soit $56 + 18n$ pour les solutions étendues. Dès lors

$$U - V = -12,8 \times (T - t);$$

soit, pour l'intervalle entre 9°,7 et 21 degrés,

$$-12,8 \times 11,3 = -145.$$

L'expérience a donné

$$-3,410 + 3,275 = -135,$$

ce qui concorde au delà du terme que la précision des expériences permettait d'espérer.

» On remarquera que la chaleur absorbée dans la dissolution de l'acide tartrique *croît* avec la température, contrairement à ce qui arrive pour la plupart des sels; la chaleur spécifique moléculaire des solutions salines

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. VI, p. 304.

(**) La chaleur spécifique, au sens ordinaire, de l'acide tartrique étant 0,288 d'après M. H. Kopp, nombre qu'il faut multiplier par le poids de la molécule, 150. Les chaleurs spécifiques des dissolutions étendues sont empruntées à M. Thomsen.

étant presque toujours moindre que celle de leurs composants, tandis que le contraire existe pour les solutions tartriques. Ces relations entre le signe de la variation de la chaleur dégagée avec la température et les chaleurs spécifiques sont une conséquence de la formule générale donnée plus haut : elles ont été déjà signalées par l'un de nous, à l'occasion des expériences de MM. Bussy et Buignet sur le mélange des liquides (*), et l'on aura prochainement occasion d'y revenir.

» 3. *Chaleur de solution de l'acide tartrique gauche.* — Nous avons trouvé, à 9°,7, avec 1 partie d'acide et 40 parties d'eau, que la dissolution d'une molécule d'acide gauche, $C^8H^6O^{12} = 150^{gr}$, absorbe — 3,270, nombre qui peut être regardé comme identique avec celui de l'acide droit.

» Le travail mis en jeu dans la désagrégation des deux acides symétriques se dissolvant dans la même quantité d'eau est donc le même ; ce qui est conforme aux relations générales qui existent entre les propriétés ordinaires de ces deux acides.

» 4. *Chaleur de solution de l'acide racémique* (*acide neutre*). — A 9°,7 (1 partie d'acide et 40 parties d'eau), la dissolution d'une demi-molécule d'acide racémique sec, $C^8H^6O^{12} = 150^{gr}$, absorbe — 5,420 ; soit les deux tiers en plus que l'acide actif, droit ou gauche.

» D'autre part, dans les mêmes conditions, une molécule d'acide racémique cristallisé et hydraté, $C^8H^6O^{12} + 2HO = 168^{gr}$, absorbe — 6,90.

» La différence $- 5,42 + 6,90 = + 1,48$ représente la chaleur dégagée lorsque l'eau liquide s'unit avec l'acide racémique solide pour former l'hydrate cristallisé : c'est sensiblement la chaleur de fusion de l'eau ; d'où il résulte que l'union de l'eau solide avec l'acide racémique solide produit un phénomène thermique à peu près nul. C'est là d'ailleurs une circonstance exceptionnelle dans la formation des hydrates cristallisés, laquelle a lieu presque toujours avec dégagement de chaleur (voir *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 29, *Sur la chaleur de combinaison rapportée à l'état solide*).

» 5. *Chaleur de dissolution de l'acide tartrique inactif.* — A 9°,9 (1 partie d'acide et 40 parties d'eau), la dissolution d'une molécule d'acide tartrique inactif, $C^8H^6O^{12} = 150^{gr}$, absorbe — 5,240 ; valeur assez voisine du chiffre relatif à l'acide racémique, et très-supérieure au chiffre qui concerne les acides actifs.

» 6. *Formation de l'acide racémique* (neutre). — Cherchons maintenant la chaleur mise en jeu lorsque les acides tartriques droit et gauche de-

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XVIII, p. 100 à 102.

viennent de l'acide racémique. Il suffit pour cela de mêler les solutions des deux premiers acides, de façon à obtenir une solution identique avec celle de l'acide racémique. En opérant le mélange des solutions précédemment obtenues (1 partie d'acide et 40 parties d'eau) à volumes égaux, il ne se produit qu'un phénomène thermique presque insensible : $+0^{\circ},01$ ; ce qui fait, pour la réaction des *corps dissous*,

$$C^8H^6O^{12}\ (\text{droit}) + C^8H^6O^{12}\ (\text{gauche}) = 2C^8H^6O^{12}\ (\text{neutre}) : +0,120,$$

quantité à peine supérieure aux erreurs d'expériences.

» La réaction des deux solutions ne donne donc lieu qu'à un dégagement de chaleur extrêmement faible. En admettant que leur mélange est identique avec la solution d'acide racémique de même titre, on trouve aisément la chaleur dégagée par l'union des acides droit et gauche solides, formant l'acide neutre solide. En effet, on passe des premiers aux derniers.

| | |
|---|---|
| En dissolvant les deux acides actifs, ce qui absorbe... | $-3,275 \times 2 = -6,55$ |
| Mêlant les liqueurs, ce qui dégage.................. | $+0,12$ |
| Et séparant l'acide racémique (sec), ce qui dégage... | $+5,42 \times 2 = 10,84$ |

Ce qui fait, pour la réaction des *corps solides :*

| | |
|---|---|
| $C^8H^6O^{12}$ (droit) + $C^8H^6O^{12}$ (gauche) = $2C^8H^6O^{12}$ (neutre). | $+4,41$ |
| Soit, pour une demi-molécule, $C^8H^6O^{12} = 150^{gr}$....... | $+2,205$ |

» Telle est la quantité de chaleur dégagée par l'union des deux acides actifs solides, avec formation de l'acide neutre et sec.

» Avant d'entrer plus avant dans la discussion du phénomène, il importe de lever un doute qui se présente à l'esprit. Le mélange des deux solutions droite et gauche est-il identique avec la solution de l'acide neutre? Ne pourrait-il pas en différer, surtout dans les premiers moments? Les changements lents que manifestent les solutions récentes d'acétate ferrique (*) ou de glucose déshydraté autorisent le doute, quand il s'agit de changements moléculaires si délicats. Il n'existe qu'une manière certaine d'y répondre, c'est de former dans un même cycle expérimental l'acide racémique cristallisé avec les acides droit et gauche solides, puis de le redissoudre en présence de quantités d'eau identiques à celles qui ont été employées dans les expériences précédentes. Pour y parvenir, nous avons placé dans le calorimètre 800 grammes d'eau, sur lesquels nous avons prélevé deux fractions de 25 grammes, placées dans deux tubes de verre

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXX, p. 174.

mince, séparés et flottant dans l'eau du calorimètre. Dans l'un de ces tubes, on a dissous 10 grammes d'acide droit; dans l'autre, 10 grammes d'acide gauche; puis, sans attendre que l'équilibre thermique fût tout à fait rétabli avec l'eau du calorimètre, on a fait passer le contenu d'un tube dans le second : ce qui a déterminé aussitôt une abondante cristallisation d'acide racémique. Après quelques instants, la liqueur étant prise en masse, on a percé les deux tubes avec une pointe de platine, afin de dissoudre et de mêler complétement leur contenu dans l'eau du calorimètre; enfin l'on a mesuré la température finale de celle-ci. Toute la suite de ces opérations ne dure pas plus de deux à trois minutes, c'est-à-dire qu'elle est assez rapide pour n'entraîner aucune correction. La chaleur ainsi absorbée a été trouvée égale à — 6,44 : pour une molécule d'acide droit + une molécule d'acide gauche. Or

| | |
|---|---|
| La dissolution des acides séparés aurait absorbé... $-3,275 \times 2 =$ | $-6,55$ |
| Et le mélange des deux liqueurs aurait dégagé.............. | $+0,12$ |
| | $-6,43$ |

» Il y a concordance complète entre les deux résultats; ce qui prouve que le mélange des solutions récentes des deux acides actifs est identique avec une solution récente d'acide racémique.

» L'union des deux acides solides dégage donc bien réellement + 4,43.

» 7. Mais cette union a-t-elle lieu au moment du mélange des liqueurs, ou bien seulement dans l'acte de la cristallisation? En d'autres termes, l'acide racémique existe-t-il dans ses dissolutions, ou bien est-il décomposé par l'eau d'une manière immédiate, de telle façon que la chaleur absorbée dans sa dissolution apparente répondrait en réalité à un double phénomène, savoir : la séparation de l'acide racémique en acides droit et gauche, et la dissolution propre de ces deux acides? Sans prétendre résoudre complétement la question, nous devons dire que la seconde opinion nous paraît plus conforme à nos expériences. En effet, le mélange des deux solutions droite et gauche ne produit qu'un effet thermique insignifiant; il semble donc qu'il n'y ait pas combinaison dans l'état dissous. Pour préciser tout à fait, il y a un léger dégagement de chaleur (+ 0°,01) qui pourrait indiquer un commencement de réaction; de telle sorte que la liqueur renfermerait à la fois l'acide droit et l'acide gauche, en présence d'une petite quantité d'acide neutre : cette manière de voir est plus conforme aux équilibres caractéristiques des dissolutions des sels doubles et

des sels acides. Elle s'accorde mieux aussi avec le fait que l'acide racémique cristallise dans les liqueurs concentrées, ce qui paraît impliquer qu'il préexiste en certaine proportion.

» La même conception nous paraît également applicable aux solutions des racémates : dans tous les cas, elles contiendraient les deux tartrates actifs, plus une certaine proportion de racémate. Lorsqu'on les concentre, le sel le moins soluble se sépare : c'est le plus souvent le racémate, probablement à cause de son poids moléculaire plus grand. Mais certains tartrates actifs, par exception, peuvent aussi offrir une solubilité moindre, circonstance à laquelle les équilibres caractéristiques des sels doubles formés par deux bases distinctes pourraient bien concourir, et qui a permis, comme on sait, à M. Pasteur de réaliser son élégante séparation des deux tartrates actifs et doubles de soude et d'ammoniaque.

» En résumé, 1° l'union de l'acide tartrique droit avec l'acide gauche pour former l'acide neutre, sous la forme solide, dégage. . . . + 4,43

» 2° Le mélange des deux acides dissous dégage seulement. . + 0,12

» 3° Enfin, il nous paraît probable que ces deux acides demeurent presque entièrement séparés dans leurs dissolutions étendues, et que l'eau décompose en grande partie l'acide neutre en ses deux composants actifs. »

THERMOCHIMIE. — *Sur les hydrates cristallisés de l'acide sulfurique;* par M. Berthelot.

« 1. J'ai profité des froids du dernier hiver pour préparer en grande quantité le second hydrate cristallisé que forme l'acide sulfurique, composé dont l'étude m'a paru offrir un intérêt tout particulier, parce que son existence est plus certaine que celle des hydrates liquides formés par les acides forts : $SO^4H, HO$. Les cristaux, d'un volume et d'un éclat très-grands, ont été égouttés sur une plaque de porcelaine poreuse pendant huit jours, puis j'ai déterminé la chaleur dégagée par leur dissolution. En présence de $200\,H^2O^2$, trois expériences ont donné, à 11°, 5,

3,50, 3,55, 3,62; Moyenne. . . 3,56.

» D'autre part, j'ai mesuré la chaleur dégagée par le même acide fondu, à la même température, et, en présence de la même quantité d'eau, j'ai trouvé + 5,40. Je conclus de là la chaleur de fusion de l'acide bihydraté

$SO^4H, HO$, soit + 1,84.

» 2. Ce chiffre dépasse de beaucoup la chaleur de fusion de l'acide

monohydraté, $SO^4H$ : $+0,43$; et même la somme des chaleurs de fusion de cet acide et de l'eau :

| | | |
|---|---|---|
| $SO^4H$ | dégage, en se solidifiant..... | $+0,43$ |
| HO | » » » .... | $+0,72$ |
| | | $+1,15$ |

» 3. L'union de l'eau *liquide* avec l'acide monohydraté *liquide* pour former un hydrate *liquide* : $SO^4H$, HO, dégage $+8,46-5,40=3,06$.

» L'union de l'eau *solide* avec l'acide monohydraté *solide* pour former le même hydrate *solide* : $+8,03-3,56-0,72=+3,75$.

» Le dernier mode de calcul fournit des termes de comparaison plus assurés qu'aucun autre, au point de vue théorique, comme j'ai eu occasion de l'expliquer (*Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 24) :

| | |
|---|---|
| A partir de $SO^3$ solide, le premier HO (solide) dégage... | $+9,9$ |
| » » le deuxième » » ... | $+3,7$ |

Ces nombres sont d'un ordre de grandeur comparable entre eux et avec la chaleur d'hydratation de l'acide azotique anhydre :

$AzO^5$ liquide $+$ HO liq. $=$ $AzO^6H$ liq. dégage.............. 5,3,

valeurs propres à montrer qu'il n'existe point de démarcation tranchée entre les acides monohydratés et leurs hydrates secondaires, au point de vue de la mécanique chimique.

» 4. Enfin, si nous comparons la chaleur de formation du deuxième hydrate sulfurique avec celle des hydrates oxalique et racémique cristallisés :

| | | |
|---|---|---|
| $S^2H^2O^8$ (solide) $+$ $H^2O^2$ (solide) | $=$ hydrate solide... | $+7,50$ |
| $C^4H^2O^8$ $+$ $2H^2O^2$ (solide) | $=$ hydrate solide... | $+1,67\times2$ |
| $C^8H^6O^{12}$ $+$ $H^2O^2$ (solide) | $=$ hydrate solide... | $+0,00$ |

» Ces nombres n'offrent entre eux aucune relation simple; mais ils fourniront des renseignements utiles pour la discussion des réactions opérées dans les dissolutions, au sein desquelles de tels hydrates définis existent et règlent parfois le partage relatif des bases et des acides. (Voir *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXX, p. 534 et 538.)

» 5. En effet, l'existence de l'acide sulfurique bihydraté comme composé défini, même à l'état liquide, pourrait déjà être conclue de certaines de ses propriétés thermiques, alors même qu'il n'aurait pas été obtenu en cristaux. Par exemple, MM. Favre et du Quaillard (*Comptes rendus*, t. L, p. 1150) ont donné les quantités de chaleur qui se dégagent lorsqu'on

ajoute de l'eau à l'acide sulfurique, $SO^4H$, par huitièmes et quarts d'équivalents successifs. Or, jusqu'à un équivalent, les chiffres obtenus sont, à peu de chose près, proportionnels à l'eau additionnelle ; tandis qu'au delà ils décroissent rapidement, en suivant une marche analogue à celle d'une progression géométrique. Il semble donc que le premier effet de l'action de l'eau soit de former le composé défini : $SO^4H, HO$.

» 6. La grande stabilité de ce composé, même à l'état liquide, comparée à celle des autres hydrates sulfuriques, est encore attestée par les courbes relatives aux tensions de vapeur de ces hydrates, que M. Regnault a publiées dans ses recherches sur l'hygrométrie (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XV, p. 173). En effet, la tension de la vapeur émise par l'hydrate $SO^4H, HO$ est excessivement faible et varie à peine entre zéro et 50 degrés (de $0^{mm},1$ à $0^{mm},6$); tandis que la tension des mélanges $SO^4H, 2HO$; $SO^4H, 3HO$; etc., faible également vers zéro, croît rapidement avec la température : ce qui atteste une tendance bien plus marquée à la dissociation, cette tension étant attribuable, en totalité ou à peu près, à la séparation de la vapeur d'eau.

» 7. Les chaleurs spécifiques fournissent un nouvel argument. En effet, d'après les mesures concordantes de MM. Pfaundler, Thomsen et Marignac, la chaleur spécifique moléculaire de l'hydrate $SO^4H, HO$ est à peu près la somme de celle de ses composants; tandis que celle des mélanges plus hydratés est inférieure à ladite somme et décroît lentement, jusqu'à devenir moindre que celle de l'eau elle-même qui concourt à les former (à partir de $50H^2O^2$ environ).

» 8. Non-seulement ces faits peuvent être invoqués pour prouver l'existence de l'hydrate liquide, mais ils entraînent une conséquence nouvelle qu'il me paraît utile de signaler : c'est que la chaleur développée dans la combinaison de l'acide monohydraté avec un nouvel équivalent d'eau :

$$SO^4H + HO \text{ dégage } +3.1 \text{ (tous les corps liquides)}$$

doit être à peu près constante entre zéro et 50 degrés et même au delà. En effet, le terme $U - V = (\Sigma c - \Sigma c_1)(T - t)$ qui exprime la variation de la chaleur de combinaison avec la température est nul pour un pareil système, d'après la relation précitée des chaleurs spécifiques, en tant que celles-ci pourront être regardées comme constantes dans les limites indiquées de température.

Or le contraire arrive en général pour les simples mélanges liquides ou les composés dissociés. Par exemple, la chaleur dégagée lorsqu'on étend avec

$100H^2O^2$, soit l'acide monohydraté $SO^4H$, soit son hydrate secondaire $SO^4H + HO$, s'accroît de la même valeur, c'est-à-dire de $+ 21\,t$ par une élévation de $t$ degrés dans la température : ce qui fait $+ 2,100$ environ de zéro à 100 degrés. Or cette variation se produit d'une manière inégale et décroissante pour les acides plus étendus. Je me propose de revenir très-prochainement sur cette question, en exposant mes expériences sur les réactions entre l'eau et l'acide azotique. »

ASTRONOMIE PHYSIQUE. — *Recherches expérimentales conduisant à une détermination de la température du Soleil.* Lettre du P. A. **Secchi** à M. le Secrétaire perpétuel.

« Rome, 4 mars 1874.

» Pendant l'été dernier, j'ai fait quelques expériences pour déterminer le rapport de la radiation solaire avec celle de la lumière électrique, afin d'éclaircir, s'il est possible, la question de la température solaire. J'ai choisi cette source lumineuse comme celle qui s'éloigne le moins en intensité de celle du Soleil, de manière à diminuer les divergences d'opinions auxquelles on a été conduit au sujet de la loi de la radiation, selon qu'on a adopté la théorie de Newton ou celle de Dulong et Petit.

» Pour évaluer les deux radiations, j'ai employé le même appareil, le thermhéliomètre décrit dans mon ouvrage *le Soleil;* cet instrument, malgré les objections qui ont été faites, me paraît convenable surtout pour déterminer, comme dans le cas actuel, de simples différences. En appelant $I_s$ et $I_c$ les intensités absolues des radiations du Soleil et des charbons, et $\theta_s$ et $\theta_c$ les excès de température du thermomètre noir sur la température de l'enceinte, dans le cas de la radiation solaire et dans le cas de la radiation électrique; $\alpha$ et $\delta$ les diamètres apparents des surfaces rayonnantes, vues du centre du thermomètre noir, nous aurons

$$\frac{\theta_s}{\theta_c} = \frac{I_s \operatorname{tang}^2 \delta}{I_c \operatorname{tang}^2 \alpha} \quad \text{d'où} \quad I_s = I_c \frac{\theta_s}{\theta_c} \frac{\operatorname{tang}^2 \alpha}{\operatorname{tang}^2 \delta}.$$

» Dans la pratique, il y a une grande difficulté à déterminer la surface rayonnante des charbons : ils sont, en général, très-brillants à la pointe, mais leur incandescence diminue ensuite rapidement; de plus, l'arc qui les sépare a une radiation bien différente. Nous avons cherché à déterminer la surface des parties rayonnantes des charbons, en comparant leurs dimensions à celles de tubes de verre placés très-près, et évaluant la distance à laquelle un fil de platine fin entrait en fusion sans les toucher. Nous avons

ainsi obtenu une surface à peu près rectangulaire, égale à celle d'un cercle de 1 centimètre de diamètre; la radiation des parties extérieures à cette limite était du reste interceptée par des diaphragmes. La pile était de 50 éléments de Bunsen, montée avec des acides nouveaux (acide nitrique à 40 degrés; acide sulfurique étendu de neuf fois son poids d'eau). Les éléments avaient $0^m,12$ de diamètre sur $0^m,20$ de hauteur. Les conducteurs de cuivre étaient courts et très-gros; l'intensité du courant était telle, que les disques isolants d'un appareil Foucault furent presque immédiatement fondus, et l'on pouvait constamment amener au rouge blanc un fil de fer de 1 millimètre de diamètre et de $2^m,50$ de long. Sans doute, ces indications sont assez vagues pour évaluer la température et l'intensité du courant; mais elles suffisent pour avoir une idée des conditions de l'expérience.

» Le thermhéliomètre étant placé au niveau des charbons, et le thermomètre noir étant à une distance de $0^m,395$, on trouva, après une demi-heure d'observation, une différence de $3°,63$ entre la température des thermomètres de l'enceinte et celle du thermomètre noir; cette différence resta constante encore pendant une heure, avec des fluctuations insignifiantes.

» La température produite par la radiation solaire fut déterminée, dans les environs de midi, pendant plusieurs journées de juillet, et avec le même instrument : on trouva pour la différence $17°,16$, quantité qui s'accorde très-bien avec celle qui avait été obtenue il y a plusieurs années. A cette dernière valeur il faut cependant appliquer la correction due à l'absorption produite par notre atmosphère; en tenant compte de la hauteur du Soleil pendant l'observation, on est conduit à la valeur $17°,37$.

» En substituant ces valeurs dans la formule précédente, calculant les diamètres $\alpha$ et $\delta$ d'après les dimensions et les distances des aires rayonnantes, on obtient

$$I_s = I_c \times 36,468,$$

de sorte que la radiation solaire serait trente-six fois et demie celle des charbons. Cependant cette évaluation est inférieure à la vérité, car nous savons que la correction effectuée pour l'absorption par l'atmosphère est trop faible; M. Soret a trouvé directement sur le mont Blanc $21°,13$; probablement, à la limite supérieure de notre atmosphère, la valeur serait d'environ $27°,00$. Ces deux valeurs donneraient respectivement :

Pour $21°,13$. . . $I_s = I_c \times 44,36$

Pour $27°,00$. . . $I_s = I_c \times 56,66$

Ces rapports diffèrent considérablement de ceux qui ont été donnés par d'autres observateurs. Dans la crainte qu'il n'y eût quelque cause d'erreur énorme dans ma lumière électrique, je l'ai comparée à la lumière d'une bougie stéarique; j'ai trouvé qu'elle valait 1450 bougies du commerce; elle avait donc bien l'intensité que donne ordinairement une bonne pile. Dans une autre série d'expériences, faites après que la pile avait déjà travaillé quelque temps, j'ai trouvé $I_s = I_c + 47,5$, résultat qui ne s'éloigne pas beaucoup de celui auquel je suis arrivé plus haut, avec la température 21°,3 obtenue directement par M. Soret.

» En nous arrêtant donc à cette température de 21°,13, qui est incontestable et certainement inférieure à la réalité, et supposant que la température de la surface rayonnante des charbons est de 3000 degrés, nombre qui n'est pas exagéré, puisque le platine fondait dans toute l'étendue soumise à l'expérience, et supposant la radiation proportionnelle à la température, nous obtenons pour la température potentielle du Soleil 133780 degrés; cette valeur peut même être portée à 169980 degrés, en adoptant le chiffre de 27 degrés comme produit par la radiation solaire.

» J'avais déjà remarqué, dans mon ouvrage sur *le Soleil* (p. 270), et M. Hirn l'a rappelé dernièrement, que la température de la radiation peut dépendre, soit seulement de la couche superficielle du Soleil, soit d'une épaisseur considérable de sa substance, selon que celle-ci est opaque ou transparente. Ce savant en a conclu que, si la transparence était presque parfaite, la température pourrait bien être seulement de quelques milliers de degrés; mais divers phénomènes prouvent que, pour le Soleil, la transparence est, au contraire, très-imparfaite. Dans une de mes Communications précédentes, j'ai rapporté cette observation singulière, que les courants des pénombres sont croisés et passent les uns au-dessus des autres; or, dans ce cas, les courants supérieurs cachent complétement les courants inférieurs, de sorte que la masse photosphérique n'a point de transparence sensible : cette observation du croisement des courants a été dernièrement confirmée par M. Langley (1). Le défaut de transparence dans la photosphère peut également être constaté par l'observation des jets épais des protubérances métalliques, dans lesquels une branche ne laisse pas voir l'autre à travers son épaisseur. Sans admettre une opacité absolue, car la lumière très-vive de la photosphère peut bien empêcher de distinguer les

---

(1) *Am. Journal of Sciences*; 3e série, t. VII, février 1874.

couches inférieures, il est certain que la photosphère n'est pas complétement transparente, car autrement, au bord, le Soleil ne nous paraîtrait pas tranché, mais diffus.

» Ainsi la température que nous venons d'indiquer n'est point inadmissible. Elle serait sans doute bien éloignée du chiffre donné par l'application directe de la loi de Newton, mais elle serait aussi très-éloignée de celui que donne la loi de Dulong et Petit. Il me semble que ces expériences comparatives éliminent presque complétement les considérations tirées de la loi théorique, et qu'elles donnent une limite inférieure de la température de l'astre.

» Du reste, si la température solaire n'atteignait que quelques milliers de degrés, son refroidissement serait sensible dans un intervalle de temps relativement court, et cette diminution de température se traduirait par une accélération notable dans la rotation de l'astre. Sans doute, l'excès de vitesse qu'on observe à l'équateur solaire, et qu'on a essayé inutilement d'expliquer par des courants analogues à ceux de nos vents alizés, est dû à ce refroidissement qui, bien que très-faible, n'est pas nul. La loi de M. Faye, déduite de celle de Carrington, résulte, en effet, de la simple comparaison de la diminution que doivent subir les aires des cercles équatoriaux et des parallèles, par le refroidissement de la masse estimée dans leurs plans respectifs de rotation. Cette action progressive doit maintenir constamment cette différence de vitesse, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à une crise éloignée, comme le fait M. Roche; car, dans ce cas, la masse serait arrivée bientôt à l'uniformité à cause du frottement.

L'activité du Soleil n'étant pas constante, il en résulterait que ses pertes en radiation ne le seraient pas davantage, et, par conséquent, la rotation apparente du Soleil, ou plutôt de sa couche photosphérique, serait variable, ce qui s'accorderait avec les résultats obtenus par M. Spörer. »

Le P. Secchi fait hommage à l'Académie de la 2e édition de son ouvrage « L'unité des forces physiques, essai de philosophie naturelle ».

## NOMINATIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à la nomination d'un Membre qui remplira, dans la Section de Médecine et Chirurgie, la place laissée vacante par le décès de M. *Nélaton*.

Au premier tour de scrutin, le nombre des votants étant 60,

| | |
|---|---|
| M. Gosselin obtient. . . . . . . . . . . . | 25 suffrages. |
| M. Marey. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 18 » |
| M. Vulpian. . . . . . . . . . . . . . . . . | 13 » |
| M. Broca. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 3 » |
| M. Piorry. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 » |

Aucun candidat n'ayant réuni la majorité absolue des suffrages, il est procédé à un deuxième tour de scrutin.

Au deuxième tour de scrutin, le nombre des votants étant encore 60,

| | |
|---|---|
| M. Gosselin obtient. . . . . . . . . . . . | 28 suffrages. |
| M. Marey . . . . . . . . . . . . . . . . . | 19 » |
| M. Vulpian. . . . . . . . . . . . . . . . . | 13 » |

Aucun candidat n'ayant encore réuni la majorité absolue, il est procédé à un scrutin de ballotage qui, aux termes du règlement, ne demande, cette fois, pour l'élection, que la majorité relative.

Au troisième tour de scrutin, le nombre des votants étant toujours 60,

| | |
|---|---|
| M. Gosselin obtient . . . . . . . . . . . | 38 suffrages. |
| M. Marey. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 21 » |
| M. Vulpian . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 » |

M. **Gosselin**, ayant réuni la majorité des suffrages, est proclamé élu. Sa nomination sera soumise à l'approbation du Président de la République.

## RAPPORTS.

GÉODÉSIE. — RAPPORT *sur les travaux géodésiques relatifs à la nouvelle détermination de la méridienne de France*, fait au nom d'une Commission formée des Membres des Sections de Géométrie, d'Astronomie, de Géographie et Navigation et des Membres composant le Bureau. (M. **Élie de Beaumont**, rapporteur.)

« M. le Ministre de la Guerre a bien voulu écrire à l'Académie, le 14 décembre 1872, une Lettre (1) dans laquelle il la consulte au sujet de

(1) Cette Lettre a été reçue par l'Académie dans la séance du 16 décembre 1872. (Voir *Comptes rendus*, t. LXXV, p. 1661.) La Commission ci-dessus désignée, nommée dans cette

la nouvelle détermination de la méridienne de la France, entreprise par le Dépôt de la Guerre, sur la recommandation du Bureau des Longitudes, et confiée à M. F. Perrier, capitaine d'état-major, secondé par MM. les capitaines Bassot et Pénel.

» La dernière mesure de la méridienne de France, exécutée de 1792 à 1798 par Delambre et Méchain, au milieu de circonstances très-difficiles, qui ne s'expliquent que trop par les dates de leurs opérations, contient des erreurs qui ont été signalées et mises en évidence, d'abord par les Ingénieurs-Géographes du Dépôt de la Guerre, et plus récemment par les astronomes de l'Observatoire de Paris.

» On pouvait d'autant moins hésiter sur la nécessité d'effacer ces légères taches de la grande œuvre nationale de la méridienne, base du système métrique, que toute la triangulation française, fondement de la nouvelle carte de France, s'en trouve affectée.

» Déjà, à plusieurs reprises, le Bureau des Longitudes et l'Observatoire de Paris avaient émis le vœu que la méridienne de France fût entièrement revisée, mais la force des choses avait toujours fait ajourner cette entreprise, jusqu'au moment où M. le maréchal Niel, alors Ministre de la Guerre, décida, en avril 1869, qu'une nouvelle détermination de la méridienne de France serait entreprise, à partir de 1870. Le Ministre désigna, pour diriger l'ensemble et surveiller tous les détails de cette opération, M. François Perrier, capitaine d'état-major, déjà connu par sa coopération à la triangulation exécutée en Algérie, avec le plus grand soin, par plusieurs officiers d'état-major français, parmi lesquels il occupe un des rangs les plus distingués.

» La mesure nouvelle de la méridienne de France, qui vient ainsi d'être entreprise, sera la quatrième.

» La première a été exécutée par Picard et conduite depuis Dunkerque jusqu'à Collioure, de 1683 à 1718.

» La deuxième a été commencée en 1739, par Cassini de Thury et la Caille; les résultats en ont été publiés en 1744 dans un volume intitulé : *La Méridienne rectifiée*. Cette opération, à laquelle le nom seul de la Caille suffirait pour garantir l'exécution la meilleure qui fût possible avec les moyens

---

séance, pour examiner les documents transmis par M. le Ministre de la Guerre, est composée de MM. Chasles, Bertrand, Hermite, Serret, O. Bonnet, Puiseux, Mathieu, Liouville, Le Verrier, Faye, Janssen, Loewy, de Tessan, Pâris, Jurien de la Gravière, Dupuy de Lôme, d'Abbadie, Yvon Villarceau, Fremy, Élie de Beaumont, Dumas.

alors connus, a fourni les premières bases de la *Carte de Cassini*, dont les feuilles ont paru successivement pendant la seconde moitié du XVIII^e siècle, sous le titre de *Carte de l'Académie*.

» La troisième mesure est celle exécutée de 1792 à 1798, par Delambre et Méchain, et consignée dans le savant et célèbre ouvrage intitulé : *Base du système métrique*, publié dans les premières années du siècle actuel. Cette mesure nouvelle a été le point de départ de la grande triangulation qui sert de fondement à la nouvelle Carte de France publiée par le Dépôt de la Guerre sous le titre de *Carte de l'État-Major*.

» Chacun de ces grands travaux a été accueilli avec une faveur méritée et a contribué à donner à ses auteurs une juste célébrité. Si chacun d'eux a rectifié quelque chose dans les précédents, cela a tenu, avant tout, à ce que, dans l'intervalle, l'art de mesurer les distances avait fait des progrès.

» Les circonstances sont redevenues les mêmes aujourd'hui; il ne faut pas accuser de présomption les savants qui, de nos jours, ont songé à recommencer les travaux de Delambre et Méchain; il s'agit simplement de faire ce que ces illustres astronomes auraient fait eux-mêmes, si l'on avait possédé de leur temps les moyens d'observation, de mesure et de calcul que la science possède aujourd'hui.

» C'est sur l'emploi déjà commencé de ces moyens perfectionnés que M. le Ministre de la Guerre consulte en ce moment l'Académie.

» Avec sa Lettre du 14 décembre 1872, M. le Ministre a envoyé à l'Académie onze registres contenant la copie conforme des observations déjà faites sur onze points de la nouvelle méridienne, entre les Pyrénées et la Montagne-Noire, accompagnés des dessins nécessaires à l'intelligence d'une légende explicative. Chacun de ces registres est arrêté, *ne varietur*, comme le seront tous ceux qui suivront d'année en année, afin que la *sincérité* des observations ne puisse être ni soupçonnée, ni altérée dans le but de produire des concordances trompeuses.

» Tous ces registres se rapportent aux campagnes de 1871 et de 1872; mais, en janvier dernier, l'Académie a encore reçu dix nouveaux registres, semblables aux précédents. Ces derniers se rapportent à la campagne de 1873 et attestent un progrès sensible dans la régularité du travail.

» L'Académie a également reçu plusieurs Notes importantes de M. le capitaine Perrier, et les envois du Ministère de la Guerre, outre les vingt et un registres mentionnés ci-dessus, contiennent encore deux registres supplémentaires consacrés aux calculs de tous les triangles et à des remarques générales.

» M. le Ministre de la Guerre terminait ainsi sa Lettre du 14 décembre 1872, adressée au Président de l'Académie des Sciences, en même temps que ces documents :

« Je vous prie, Monsieur le Président, de vouloir bien les présenter à l'Académie, en lui demandant de nommer une Commission spécialement chargée de les examiner et de rédiger un Rapport, que je serais heureux de recevoir, sur l'ensemble des travaux déjà exécutés, et sur le degré de précision avec lequel ils ont été accomplis. Le Dépôt de la Guerre accueillera avec reconnaissance les critiques et les conseils de l'Académie. »

» Le Président de l'Académie, ainsi qu'on l'a déjà dit, a composé la Commission, qui a pris le nom de *Commission de la Méridienne*, des trois Sections de Géométrie, d'Astronomie, et de Géographie et Navigation, en y adjoignant les Membres composant le Bureau.

» La Commission a examiné tous les documents envoyés par M. le Ministre de la Guerre, ainsi que les Notes et Mémoires présentés par M. le capitaine Perrier; elle en a discuté le contenu, et elle a bien voulu me faire l'honneur de me charger de résumer les observations qui se sont produites dans cette discussion.

» Les vingt et un registres qui forment la partie principale des documents soumis à notre examen se rapportent chacun à l'une des stations établies aux points qui servent de sommets à un ou à plusieurs des triangles dont l'enchaînement représente la partie de la méridienne comprise entre la chaîne des Pyrénées et le massif du Cantal. Les noms de la plupart de ces stations sont connus depuis longtemps; car ce sont ceux de montagnes ou de clochers qui s'offrent aux regards de prime abord et qui ont déjà servi de stations pour les opérations de Picard, de Cassini et la Caille, et enfin de Delambre et Méchain.

» Dans certains cas, pour avoir des triangles d'une forme plus avantageuse, on a changé quelques-unes des stations; mais les quatre enchaînements de triangles, formés pour les quatre mesures de la méridienne, n'en ont pas moins un grand nombre de points communs, ce qui facilite les moyens de les comparer.

» La première station est celle placée au terme boréal (Salces) de la base de Perpignan, établie et mesurée en 1798 par Delambre et Méchain. M. Perrier et ses collaborateurs s'y rendirent le 12 juin 1870. Ils retrouvèrent intact le pieu enfoncé à l'extrémité boréale de la base et plus tard ils constatèrent également que l'extrémité méridionale de la même base était pareillement restée immobile; d'où il résulte que cette base pourrait être mesurée de nouveau avec la plus entière sécurité. M. Perrier et ses

collaborateurs prirent toutes les dispositions nécessaires pour que la conservation de l'extrémité boréale de la base fût mieux assurée dans l'avenir qu'elle ne l'avait été jusqu'à présent, et ils en firent le centre de leur première station; mais ils durent se borner là en 1870, ayant été éloignés de leurs travaux géodésiques par les événements de guerre auxquels ils prirent une part active et honorable.

» Revenus aux Pyrénées en 1871, ils reprirent leurs travaux et commencèrent les mesures d'angles dont les résultats remplissent le premier registre. Ce sont les mesures réitérées des azimuts des trois stations avec lesquelles celle du terme boréal de la base de Perpignan a été mise en rapport, Espira, Forceral, Vernet, accompagnées d'une récapitulation des tours d'horizon, et de notes donnant tous les détails nécessaires pour la parfaite intelligence de ce qui a été fait à l'égard de cette station.

» Un registre semblable est affecté à chacune des vingt et une stations où MM. Perrier, Pénel et Bassot ont pris leurs mesures azimutales en 1871, 1872 et 1873. Ces registres sont rédigés dans les formes usitées au Dépôt de la Guerre, formes dont un usage prolongé a démontré l'excellente disposition.

» Il y a, en outre, deux registres consacrés au calcul des longueurs des côtés des triangles, l'un pour les triangles mesurés dans les campagnes de 1871 et 1872, l'autre pour ceux de la campagne de 1873. Ces derniers sont également établis dans les formes consacrées au Dépôt de la Guerre. Tous les calculs sont exécutés, comme ils le sont partout aujourd'hui, par les méthodes dues en principe à Legendre, sur lesquelles nous n'avons aucune remarque nouvelle à présenter.

» Ce qui doit surtout attirer l'attention de l'Académie, ce sont les procédés nouveaux introduits dans la mesure des angles azimutaux, et qui consistent principalement dans l'emploi du *nouveau Cercle azimutal réitérateur* adopté par le Dépôt de la Guerre et dans l'emploi de signaux lumineux observables de jour.

» Quelque grand qu'ait été le perfectionnement introduit dans la mesure des angles par l'invention du Cercle répétiteur de Borda, il paraît que ce précieux instrument n'atténue pas les erreurs commises dans les mesures d'angles dans une proportion aussi indéfinie que la théorie semble l'indiquer, et que, soit par l'effet des changements de forme résultant des variations de température, soit par celui de la flexibilité du métal et des vibrations que l'instrument éprouve dans le maniement rapide qu'on lui fait subir, pour mesurer un même angle un grand nombre de fois, soit

par l'usure des vis ou par quelque autre cause difficile peut-être à apercevoir, la précision des mesures qu'il donne ne dépasse pas une certaine limite, trop large encore pour des observations de haute précision, comme doivent être celles de la méridienne.

» On a émis depuis longtemps l'opinion qu'on atténuerait les erreurs des mesures dans une proportion plus forte encore en substituant la *réitération* des mesures à leur *répétition* et un *nouveau Cercle azimutal, réitérateur*, spécialement approprié à ce genre d'observations, a été construit, dans des conditions de stabilité toutes nouvelles, par M. Brünner, d'après les indications de MM. le capitaine Perrier, Laugier et Yvon Villarceau.

» Je n'ai pas à décrire ici cet instrument, qui a été placé sous les yeux de l'Académie et dont il a été publié des descriptions détaillées (1). Je dirai seulement que son emploi par MM. Perrier, Pénel et Bassot, dans toutes les mesures soumises à l'appréciation de l'Académie, témoigne fortement en sa faveur : on n'a jamais eu à faire subir aux angles observés que des corrections très-faibles, résultat qui suppose à la fois que les mesures ont été bien faites, et que *l'instrument est très-bon*.

» Il paraît donc qu'on peut recommander de continuer à employer le *nouveau Cercle azimutal*. Cela toutefois n'exclut pas l'idée de chercher à le perfectionner encore en essayant d'y ajouter une lunette de repère destinée à constater que sa fixité a été réellement invariable pendant toute la durée d'une série de mesures faites dans certaines circonstances particulières. Ce n'est pas que dans les opérations déjà faites on ait des raisons de craindre que cette fixité ait fait défaut; mais, comme toute la validité de l'observation repose sur cette fixité présumée, il serait plus satisfaisant de pouvoir constater à la fin de chaque opération que la position du cercle est restée invariable. Des savants éminemment autorisés pensent aussi qu'on pourrait perfectionner encore cet instrument en le rendant propre à réunir les avantages de la répétition des angles à ceux de leur réitération, ce qui mériterait d'être essayé.

» Le second des changements importants introduits dans la mesure des angles des triangles de la méridienne a porté sur la nature des signaux placés à leurs sommets. Dans l'origine, on a considéré les clochers des églises et des chapelles comme des signaux tout préparés dont on s'est empressé de se servir, et dans les stations où il n'existait pas de clochers ou d'autres édifices élevés propres à les remplacer, on a construit des espèces

---

(1) Voir *Comptes rendus*, t. LXXV, p. 1682.

de clochers simulés, des pyramides quadrangulaires dont la partie inférieure offrait un abri aux instruments et aux observateurs et dont la partie supérieure servait de point de mire; mais, quand on a cherché à atteindre le haut degré de précision indispensable dans une opération telle que celle de la méridienne, on a reconnu que les clochers et les signaux pyramidaux ont un inconvénient capital : c'est que, n'étant presque jamais éclairés en plein par le soleil qui, aux différentes heures de la journée, fait briller plus particulièrement tantôt une de leurs faces, tantôt une autre, ils présentent des espèces de *phases*, comparables à certains égards à celles de la lune, qui rendent très-difficile de diriger précisément l'axe de la lunette sur l'axe vertical du signal, de sorte qu'on vise en réalité, suivant les heures du jour, des points différents. De plus, il est souvent impossible de placer l'instrument au centre du signal, ce qui exige un calcul de réduction au centre de la station qui, effectué par l'ancienne méthode, a souvent occasionné des fautes et des méprises qui altéraient la précision des mesures.

» On a quelquefois fait disparaître une partie de ces inconvénients, en substituant les observations de nuit aux observations de jour, et en employant des signaux lumineux, c'est-à-dire des réverbères.

» Mais les observations de nuit sont très-fatigantes pour des observateurs obligés de consacrer plusieurs mois de suite à leurs travaux; elles exigent pour l'entretien et l'allumage des réverbères un nombreux personnel, pour lequel elles sont très-fatigantes aussi. Elles sont, par ces motifs, beaucoup plus dispendieuses que les observations de jour, et, dans aucun pays de l'Europe, elles n'ont été consacrées comme procédé habituel de mesurage. Les mesures de nuit ont, d'ailleurs, d'autres inconvénients : elles excitent, d'une manière toujours incommode et souvent alarmante, l'attention des habitants de la contrée, qui ne voient pas toujours sans appréhension ces feux allumés toutes les nuits sur les points culminants de leur pays. Delambre songea d'abord à les employer, mais ses observations, faites de jour, ayant causé beaucoup d'émotion, il n'osa jamais, il le dit formellement, employer en France des signaux de feu.

» Toutefois, l'Espagne étant plus calme à l'époque de la mesure de la méridienne, Méchain employa sans inconvénients les signaux de feu dans ses travaux en Catalogne, ainsi que dans le royaume de Valence, et l'usage y en a été conservé après lui.

» C'est en effet en se servant de signaux de feu, c'est-à-dire de réverbères allumés la nuit, que Biot et Arago ont réussi à lier géodésiquement les îles

Baléares à la terre ferme. Arago, dans les *Souvenirs de sa jeunesse* (1), décrit d'une manière saisissante les ennuis qu'il eut à subir, pendant six mois, sur la montagne du *desierto de las Palmas*, où il cherchait vainement à apercevoir le feu de la montagne de Campvey, dans l'île d'Iviça, dont le réverbère était mal dirigé.

» Plus tard, d'après la recommandation de Laplace, les signaux de feu ont été employés, avec succès, dans la mesure de l'arc de parallèle compris entre Paris et Strasbourg. Mais, depuis lors, on a réussi à réunir les avantages des signaux lumineux avec ceux des observations faites de jour.

En 1860, M. le colonel Levret, l'un des derniers survivants du glorieux corps des ingénieurs géographes français, ayant été chargé, de concert avec M. le capitaine Perrier, des opérations à exécuter pour lier, par-dessus le pas de Calais, plus précisément qu'on ne l'avait fait encore, la triangulation de la France à celle de l'Angleterre, opération qui exigeait l'emploi de triangles d'une grande dimension, se servit avec succès de signaux lumineux qu'on pouvait observer en plein jour. Il mit en usage un procédé indiqué depuis longtemps par Gauss, procédé essentiellement basé sur l'emploi de l'instrument proposé, sous le nom d'*héliotrope,* par l'illustre géomètre de Gœttingue, et dont les géodésiens anglais s'étaient déjà servis dans plusieurs de leurs stations. Chaque signal était un miroir argenté qui réfléchissait très-vivement l'image du Soleil, et en dirigeait les rayons vers l'observateur placé à une autre station. Le miroir était mû lentement, soit à la main, soit au moyen d'un héliostat, de manière à suivre le mouvement du Soleil et à en diriger invariablement les rayons sur la station où se trouvait l'instrument employé à mesurer les angles.

» Cette manière nouvelle d'opérer eut, entre les mains de M. le colonel Levret et de M. le capitaine Perrier, un succès déjà très-complet, et, avec quelques perfectionnements de détail et certaines simplifications dans la manière de les manœuvrer, les miroirs héliotropiques ont été adoptés pour servir de signaux dans la mesure nouvelle des triangles de la méridienne.

» Le miroir héliotropique, avec les appareils qui l'accompagnent, ne tient pas plus de place que le Cercle azimutal. Dans chaque station, on construit en maçonnerie un pilier très-solide, présentant, à une hauteur convenable, une face supérieure plane et horizontale, sur laquelle on marque d'une manière invariable le centre de la station. Autour de ce

---

(1) *Œuvres de François Arago*, t. I, p. 20.

point, on trace deux cercles concentriques de rayons convenables, qui reçoivent, suivant les cas, les trois pieds du cercle azimutal ou les trois pieds de l'instrument héliotropique, de manière que le centre du miroir, dont les dimensions sont très-petites, est placé, quand on le fait fonctionner, précisément dans la verticale, où se trouve, dans un autre moment, le centre du cercle azimutal. Par là, toutes les erreurs de pointé auxquelles donnaient lieu les phases des anciens signaux sont rendues impossibles, et la réduction au centre de la station disparaît avec tous les inconvénients qu'elle pouvait entraîner.

» Ce procédé est en lui-même excellent; cependant son emploi, qui paraît devoir être recommandé dans la généralité des cas, entraîne certaines difficultés qu'il est quelquefois difficile d'éviter.

» D'abord il ne peut être employé que lorsque le soleil éclaire simultanément tous les points dont les azimuts doivent être observés de la station où l'on emploie le Cercle azimutal, ce qui exclut immédiatement tous les moments où le ciel est couvert ou même chargé de trop de nuages épars. Indépendamment de la perte de temps qui en résulte, il est fâcheux que l'emploi de l'héliotrope oblige à ne faire les observations que dans les moments où le soleil brille, parce que ces moments sont ceux où l'échauffement produit par ses rayons rend souvent les images tremblantes, vacillantes et, pour ainsi dire, affolées. Les observateurs regrettent souvent alors la tranquillité des images des signaux qu'ils observent par un ciel couvert au-dessous duquel l'atmosphère est transparente, et celle qu'elles présentent aussi très-souvent dans les observations de nuit.

» MM. les capitaines Perrier, Bassot et Pénel ont évité en grande partie ces derniers inconvénients en ne faisant jamais de mesures d'angles que dans des moments où les images étaient pleinement satisfaisantes; mais, pour cela, ils ont dû sacrifier beaucoup de belles heures de travail et même des journées entières éclairées par un beau soleil; ce qui les a réduits plus d'une fois à une inactivité forcée qui a allongé considérablement la durée totale de leurs observations, en a diminué le nombre et en a augmenté le prix de revient. Il est même arrivé que, dans certaines stations, ils n'ont pu compléter la série complète des vingt mesures qui doivent être prises pour chaque angle à partir d'une série de points du limbe systématiquement déterminés.

» Le trouble et l'affolement des images viennent souvent du mélange imparfait de masses d'air dont le pouvoir réfringent est inégal par suite de la différence de leur température ou de leur état hygrométrique. Le soleil,

lorsqu'il brille, échauffe inégalement les parties de la surface terrestre dont la couleur, la nature, la rugosité sont différentes. Les colonnes d'air qui reposent sur deux champs inégalement échauffés sont elles-mêmes échauffées par leur base d'une manière inégale et, si un rayon de lumière traverse obliquement le plan vertical qui les sépare, il éprouve nécessairement une réfraction latérale qui déplace à droite ou à gauche l'image du point qui l'émet, de même que la réfraction ordinaire de l'atmosphère déplace l'image d'une étoile. Cet effet est d'autant plus sensible que le soleil brille d'un plus vif éclat, et il est cause que les plus beaux jours sont quelquefois les moins favorables pour la mesure des angles.

» Les colonnes d'air inégalement échauffées tendent à s'élever et à se mélanger dans les parties supérieures de l'atmosphère où les effets dont nous parlons s'atténuent; ces effets sont surtout très-sensibles sur les rayons qui rasent le sol dans une partie plus ou moins considérable de leur cours. Les triangles de la partie méridionale de la méridienne ayant pour la plupart leurs sommets sur des montagnes, les rayons dirigés d'une station sur une autre en traversent le plus souvent l'intervalle à une hauteur considérable, et les effets de réfraction latérale y ont été assez atténués; mais, quand les stations seront dans les plaines, il n'en sera peut-être pas toujours ainsi. Pour le prévoir et sur la recommandation du Bureau des Longitudes, M. Perrier a constitué un triangle dont l'un des sommets est sur une montagne tandis que les deux autres sont dans les plaines situées au pied. En mesurant ce triangle on aura l'occasion d'étudier les effets de l'action solaire sur le rayon rasant qui unit les deux stations de la plaine.

» Il sera opportun d'y joindre l'observation comparative des angles d'un même triangle faite de jour et de nuit, tant en pays de plaine que dans une région montagneuse.

» Il n'est pas impossible qu'on éprouve des difficultés pour mesurer par le nouveau procédé les triangles situés entre Bourges et Fontainebleau, qui s'étendent sur les plaines de la Sologne et du Gâtinais et qui déjà ont donné autrefois de l'embarras à Delambre.

» On étudiera alors avec plus de détail qu'on ne l'a pu encore le choix à faire entre les différentes heures du jour et de la nuit et les différents jours de l'année. Qui sait si l'on ne trouvera pas qu'un beau soleil de janvier, tombant sur un sol couvert de neige dont la température reste constamment à zéro, offre des circonstances comparativement très-favorables?

» Peut-être aussi sera-t-on conduit à recourir, pour des cas exceptionnels de ce genre, à l'observation faite la nuit de signaux lumineux formés

par des réverbères ordinaires, par des réverbères rendus plus brillants par l'emploi du magnésium, ou même, pour de très-grands triangles, par des phares électriques.

» En ces matières, il est peut-être convenable de réserver l'avenir; mais il y a lieu d'espérer que la méthode si heureusement inaugurée aux vingt et une premières stations de la méridienne pourra servir avantageusement dans presque toutes les autres, et c'est ce qu'il faudra essayer d'abord.

» Dans les pays de plaines, la triangulation exigera des dépenses plus considérables que dans les pays de montagnes. Dans ces derniers, la construction des piliers en maçonnerie sur lesquels on a placé le Cercle azimutal et les héliotropes a été peu dispendieuse. Dans les pays de plaines, afin d'élever le niveau de la station au-dessus des forêts et autres obstacles et de conserver à la base des instruments une parfaite immobilité, il sera nécessaire de construire en maçonnerie des tours assez massives pour échapper, même dans les vents les plus violents, à toute espèce de trépidation. Le vent, en empêchant une même colonne d'air de séjourner longtemps sur une même partie du sol, est favorable à la rectilignité des rayons lumineux et à la bonne formation des images; mais ces précieux avantages seraient perdus si le vent faisait trembler le cercle azimutal.

» L'exactitude de la chaîne de triangles comprise entre Rodez et Carcassonne est vérifiée par la comparaison avec les déterminations astronomiques obtenues dans l'une des stations, en 1864, par M. Yvon Villarceau. Cette vérification a lieu tout compte fait des attractions locales; elle offre la plus sérieuse confirmation de l'ensemble de ces triangles, et fait disparaître de notre méridienne une première anomalie.

» La comparaison des résultats obtenus par MM. Perrier, Pénel et Bassot et ceux de leurs prédécesseurs a conduit à une conclusion qui devait être assez inattendue, par suite du discrédit jeté dans ces derniers temps sur les opérations de Delambre et Méchain. Les longueurs des sept côtés qui se trouvent communs, dans l'opération de 1872, aux deux enchaînements de triangles ont été trouvées extrêmement peu différentes, la plus grande des sept différences étant de $1^{m},64$ seulement, ce qui parle à la fois en faveur de l'exactitude des deux opérations et de la bonne foi (si même cette remarque est permise) des derniers observateurs.

» L'identité des résultats est plus frappante encore quand on compare les longueurs des dix côtés qui, dans les opérations de 1872, sont communs à l'enchaînement de triangles relatif à la méridienne et à celui qui avait été

établi autrefois par Coraboeuf pour la chaîne des Pyrénées. Ici la plus grande des différences est de $0^{m},28$ seulement.

» Les différences entre les angles mesurés dans les trois séries de travaux sont également très-petites. Les treize angles communs entre les triangles de Méchain et ceux des opérations de 1872 sont généralement inférieurs à 12″ centésimales : une seule atteint 23″,05, mais on peut l'attribuer à une erreur commise par Méchain et répétée par Coraboeuf dans la mesure de l'angle entre Forceral et le terme austral de la base de Perpignan. Les différences qui existent pour plusieurs autres angles, et dont la plus grande est de 12″, peuvent se rapporter à la petite incertitude qui plane sur la position de Bugarach. Les autres différences sont presque toutes très-petites. Il faut en dire autant pour les différences qui existent entre les valeurs de quinze angles des opérations de 1872, et des angles correspondants de la chaîne des Pyrénées mesurés par Coraboeuf.

» Toutes ces mesures d'angles, avant d'être employées dans le calcul des triangles, ont été soumises, trois à trois, à la méthode de compensation qui fait, de chaque groupe de trois, les angles d'un *triangle possible*, au moyen de petites additions ou soustractions qui rendent leur somme égale à deux angles droits augmentés de l'excès sphérique du triangle. Cette méthode n'est applicable qu'à des mesures presque exactes, mais des erreurs allant jusqu'à 12″ et même jusqu'à 23″ ne la mettent pas complétement en défaut, ce qui explique comment les mesures d'angles de Méchain et celles de Coraboeuf donnent pour les longueurs des côtés des résultats si peu différents de ceux des opérations nouvelles. Mais l'exactitude supérieure des mesures d'angles de MM. Perrier, Bassot et Pénel est mise en évidence par ce fait que, pour représenter trois à trois un *triangle possible*, elles n'ont besoin que de corrections très-inférieures à celles que nécessitent les mesures d'angles de Méchain et de Coraboeuf.

Dans les opérations dont les résultats sont actuellement soumis à l'examen de l'Académie, la somme des erreurs des trois angles de chaque triangle n'est jamais que d'un très-petit nombre de secondes. L'erreur moyenne de la somme des trois angles de chaque triangle revisé ne dépasse pas une demi-seconde sexagésimale, précision qui n'a été surpassée dans aucune des triangulations récemment exécutées à l'étranger. Or, comme on ne peut jamais espérer de la trouver complétement nulle, si ce n'est dans des cas exceptionnels et très-rares, on voit que les perfectionnements qu'il serait encore possible d'obtenir ne portent que sur des quantités très-peu considérables. Il y a tout lieu de présumer qu'il y a peu

de chose à attendre maintenant d'un perfectionnement ultérieur des instruments et des signaux. Les améliorations qu'on peut encore espérer se rapporteraient aux erreurs occasionnées par l'action de l'atmosphère sur les rayons lumineux, déviés quelquefois d'une manière appréciable, par les réfractions latérales.

» On ne peut donc qu'applaudir au soin que MM. Perrier, Bassot et Pénel ont pris de ne faire d'observations que par les circonstances atmosphériques les plus favorables, et les engager à persister dans l'intention exprimée par eux, de continuer à scruter attentivement cette matière délicate. On ne doit pas s'étonner qu'une pareille étude soit encore nécessaire, puisque l'emploi de signaux dont la lumière est empruntée au soleil lui-même oblige à ne travailler qu'au milieu des perturbations que la chaleur des rayons solaires fait naître dans l'atmosphère, circonstances dans lesquelles on évitait précédemment de se placer.

» Ces remarques, qui sont loin d'être des critiques, renferment les conseils que M. le Ministre de la Guerre, à la fin de sa Lettre, réclame de l'Académie.

» Le Bureau des Longitudes, préalablement consulté, a émis une opinion favorable sur les instruments dont il a été fait usage, ainsi que sur les méthodes récemment introduites au Dépôt de la Guerre et sur la précision des résultats déjà obtenus. L'Académie consultée à son tour, en dernier ressort, ne peut que s'associer à ce jugement favorable. Elle l'a même déjà fait, de la manière la moins équivoque, lorsque, dans une occasion récente, elle a présenté, en première ligne, M. le capitaine Perrier, pour remplir, dans le sein du Bureau des Longitudes, qui venait de le présenter de son côté, une place vacante que ce savant officier occupe aujourd'hui.

» L'Académie serait heureuse de voir M. le Ministre de la Guerre donner suite à l'intention exprimée dans sa Lettre, de la tenir au courant, année par année, ainsi que le Bureau des Longitudes, du degré d'avancement de ces belles opérations géodésiques. Le contrôle bienveillant des deux corps savants deviendra particulièrement utile lorsqu'il s'agira de la mesure des bases, des opérations astronomiques, du calcul de la triangulation et des conséquences importantes qui pourront en résulter pour la figure du globe terrestre.

» M. le Ministre peut être certain que, à cet égard, le concours des astronomes et des géomètres ne lui fera pas défaut.

» L'Académie verrait avec une vive satisfaction que l'opération, déjà commencée sous la direction de M. le capitaine Perrier, pour la révision

de la méridienne servît de modèle et comme de type, suivant l'expression de M. le Ministre de la Guerre, aux opérations semblables à effectuer successivement le long de nos méridiens et de nos parallèles. Elle n'applaudirait pas moins à l'entreprise, rendue praticable par les nouvelles méthodes, de joindre géodésiquement l'Espagne à l'Afrique par-dessus l'extrémité occidentale de la Méditerranée. Deux des savants qui ont le plus illustré à la fois l'Académie des Sciences et le Bureau des Longitudes, Biot et Arago, ont prolongé, il y a près de soixante-dix ans, la méridienne de France jusqu'aux îles Baléares, ce qui était alors la limite du possible, et ils ont fait pressentir sa prolongation ultérieure jusqu'aux rivages africains. La réalisation de cette prévision serait le complément des vastes travaux commencés, il y a près de deux siècles, sous les auspices de l'ancienne Académie des Sciences, par Picard et continués par les Cassini, les la Caille, les Delambre, les Méchain, les Biot, les Arago. Ces travaux, rattachés déjà à la triangulation des îles Britanniques et devenus connexes avec la triangulation de l'Algérie par des opérations auxquelles les savants officiers de l'état-major espagnol ont déjà apporté un concours non moins bienveillant que celui par lequel leurs prédécesseurs se sont associés, en 1735, à la mesure du degré du Pérou, donneraient la mesure d'un arc du méridien qui, des îles Shetland au grand désert de Sahara, embrasserait plus de 26 degrés de latitude. Ils fourniraient, pour la détermination de la grandeur et de la figure de la Terre, une base plus étendue que toutes celles sur lesquelles on a pu les faire reposer jusqu'à présent.

» L'Académie recommande avec instance cette vaste opération à Monsieur le Ministre de la Guerre. Elle le remercie vivement de la sollicitude qu'il a bien voulu lui témoigner pour tout ce qui peut conduire à un si beau résultat. Elle a été, en somme, très-satisfaite des premiers travaux qui lui ont été communiqués, et elle prie Monsieur le Ministre de donner des ordres pour que la nouvelle détermination de la méridienne de France soit continuée sans interruption, sous la direction de M. le capitaine Perrier, avec le concours de ses deux habiles collaborateurs, MM. les capitaines Bassot et Pénel. »

Les conclusions de ce Rapport sont mises aux voix et adoptées.

## MÉMOIRES LUS.

PHYSIOLOGIE. — *Mémoire sur la vessie natatoire, au point de vue de la station et de la locomotion du Poisson* (suite); par M. A. Moreau. (Extrait.)

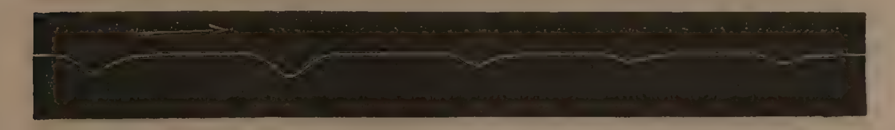
(Commissaires précédemment nommés : MM. Milne Edwards, de Quatrefages, Cl. Bernard, Berthelot.)

« Les poissons qui ont un canal aérien peuvent s'en servir comme d'une soupape de sûreté, quand ils sont soumis à une diminution de pression, et s'épargner la gêne que produit la dilatation de l'air de leur vessie natatoire. On peut cependant, comme je l'ai constaté sur des Tanches placées dans l'appareil décrit pour la première expérience, voir ces poissons captifs monter et descendre sous l'influence des pressions extérieures comme les poissons à vessie close, en d'autres termes comme des ludions.

» Cette expérience, déjà décrite page 542 de ce volume, prouve que la densité du Poisson varie avec le niveau qu'il occupe et que les nageoires rendues impuissantes pour le poisson en cage sont les organes par lesquels le Poisson libre réagit contre les influences fatales de la pesanteur.

» Si l'on vient à placer des poissons ayant un canal aérien dans l'appareil décrit pour la seconde expérience, ils nagent, montent et descendent en toute liberté et fournissent des tracés semblables à celui que j'ai reproduit (même tome, p. 543).

» Pour savoir si le poisson, qui a une vessie natatoire, peut changer lui-même son volume en se contractant, j'ai soumis, dans un appareil convenablement disposé, une Perche au passage instantané du courant électrique. A chaque fois que le courant passe, le Poisson éprouve une diminution de volume qui cesse un instant après, comme on le voit sur le tracé. On est ainsi conduit à penser que le Poisson, qui se contracte sous

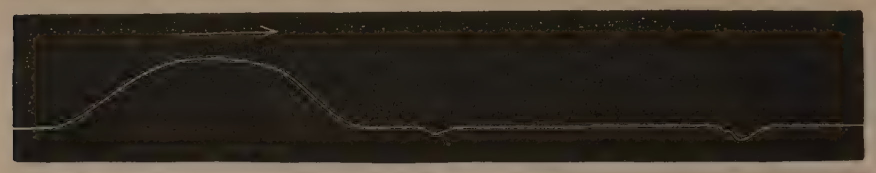


l'excitation électrique, pourra aussi se contracter volontairement et prendre le volume qui convient au but qu'il se propose.

» L'expérience suivante montre que le Poisson peut, en effet, diminuer son volume volontairement.

» Une Perche d'environ 30 centimètres de long est placée dans l'ap-

pareil décrit; elle est libre de monter et de descendre. Après avoir fourni sept fois de suite des tracés n'accusant que les variations de volume dus au changement de niveau, la Perche finit par s'irriter contre un obstacle placé à dessein et, par deux fois, se contracta violemment pour le rompre.



» On voit, en considérant ces deux tracés, que les variations de volume dues aux contractions provoquées ou aux contractions volontaires sont notables, mais ne durent qu'un instant; elles correspondent à un effort violent et par cela même passager et ne peuvent être considérées comme utilisées par le Poisson pour changer sa densité et favoriser ses mouvements d'ascension ou de descente.

» La vessie natatoire est, comme on le sait, le siége de sécrétion et d'absorption de gaz. On doit se demander si ces deux actes physiologiques ont, par les changements de volume qu'ils peuvent déterminer, une influence dans la question que je traite.

» Il est nécessaire de distinguer dans le Poisson deux sortes de mouvements, les mouvements normaux, rapides, que le Poisson exécute à chaque instant et dans lesquels il se porte dans un sens quelconque pour saisir sa proie, pour fuir un danger, etc.

» Une Perche, que j'observais, a mis, sans se presser, de huit à neuf secondes pour s'élever d'une hauteur verticale de 1 mètre. Elle avait 580 centimètres cubes comme volume, et a augmenté d'environ 3 centimètres cubes dans cette ascension. D'autre part, les expériences que j'ai faites relativement à la formation des gaz (*Comptes rendus*, t. LVII, p. 817) m'ont montré que plusieurs jours et, dans les circonstances les plus favorables, plusieurs heures étaient nécessaires pour obtenir des changements appréciables résultant des actes physiologiques de sécrétion ou d'absorption gazeuse. Mes recherches nouvelles confirment ces données et ne permettent pas d'admettre que les variations de volume d'ailleurs en rapport direct avec la pression puissent être, tant elles sont rapides, attribuées aux actes lents de sécrétion et d'absorption gazeuses (1).

(1) Je n'ai pas à me préoccuper, dans ce sujet, des variations de densité de l'eau. On le

» Mais, outre les mouvements normaux habituels que je viens de citer, le Poisson peut exécuter des mouvements de translation, de migration dont la lenteur (il s'agit ici seulement de déplacement vertical) peut être en rapport avec le temps nécessaire pour la sécrétion et l'absorption gazeuses. Ces actes physiologiques prennent alors une importance capitale; il est, en effet, de nécessité physique que le Poisson qui descend forme une nouvelle quantité de gaz et réciproquement.

» Si les contractions musculaires ou les actes de sécrétion ou d'absorption gazeuse constituaient des fonctions dont le but serait de modifier le volume du Poisson au profit de l'ascension ou de la descente, ces fonctions devraient cesser et restituer le volume primitif aussitôt le but atteint, comme on voit les muscles extenseurs et fléchisseurs alterner leur action et se constituer en muscles antagonistes pour produire les effets opposés qui sont le but de leur fonction. En effet, la densité de l'eau, qui ne varie pas pour les faibles changements de niveau que l'on a à considérer ici, obligerait le Poisson qui voudrait, après s'être élevé, nager aussi facilement qu'il le faisait au niveau favorable qu'il a quitté, à reprendre le volume qu'il avait alors. Or l'observation directe de la colonne d'eau placée dans le tube horizontal de l'appareil décrit et l'inspection des tracés montrent que le volume acquis par le Poisson, qui s'est déjà déplacé verticalement, persiste tant qu'il se tient au même niveau.

» La vessie natatoire confine le Poisson dans une zone dont le milieu correspond à son volume normal, à celui qui lui donne la densité de l'eau. A mesure qu'il s'écarte suivant une verticale de ce niveau, il s'impose à lui-même l'obligation de lutter avec ses nageoires contre l'effet qu'il subit et qui résulte de son changement de densité; et comme cet effet, presque nul d'abord, va toujours en croissant, il arrive un moment où le Poisson est vaincu; ses nageoires sont impuissantes à le ramener à la pression convenable, il est emporté d'une manière irrésistible.

» Le Poisson, qui a un canal aérien et qui s'en sert comme d'une soupape de sûreté, se condamne à être exilé de la zone qu'il fréquentait; il habitera désormais une zone plus élevée, jusqu'au moment où il aura reformé la quantité de gaz qu'il a chassée par sa bouche et ses ouïes.

---

voit, en considérant l'accroissement de 3 centimètres cubes subi par un Poisson de taille ordinaire, pour une différence de 1 mètre d'eau de pression, comparé à l'accroissement de volume que subit l'eau dont le coefficient de compressibilité est évalué à $\frac{47}{1000000}$ pour une pression atmosphérique.

» La possibilité de changer de zone est subordonnée, pour le Poisson dont la vessie natatoire est close, à la faculté de refaire du gaz ou d'en absorber, faculté qui exige un temps très-important à considérer dans les questions qui nous occupent ; quant à celui qui possède un canal aérien, tant qu'il use de ce canal comme d'une soupape de sûreté, il peut sans danger s'élever ; mais, pour descendre dans les profondeurs, il est toujours dans les conditions d'un Poisson à vessie close.

» La vessie natatoire constitue un danger permanent pour le Poisson qui la possède. L'observation suivante montre combien, pour certaines espèces, le changement de niveau est limité. J'ai pêché dans la baie de Concarneau des Tacauds (*Gadus barbatus*). Le fil qui portait l'hameçon n'avait pas plus de 2 à 3 mètres de long, et tous les Tacauds que j'ai pris, examinés aussitôt avec les précautions convenables, avaient la vessie rompue. Il ne faut pas croire, cependant, que la dilatation de l'air intérieur produise aussi rapidement cet effet fâcheux sur toutes les espèces.

» Parmi les usages nombreux que les recherches modernes permettent déjà d'attribuer à la vessie natatoire, organe remarquable en Anatomie comparée par le grand nombre de variétés qu'il présente, je rappellerai celui que le célèbre Müller a reconnu chez certaines espèces qui, par des contractions convenables, déplacent leur centre de gravité et orientent leur grand axe en vue des mouvements d'ascension ou de descente. Comme ces phénomènes n'impliquent pas de changement dans la densité moyenne du Poisson, ils ne doivent pas nous occuper davantage.

» L'expérience que j'ai décrite plus haut (*Comptes rendus*, p. 543) ne permet pas de conserver la théorie de Borelli, en tant qu'elle attribue à la vessie natatoire le rôle de favoriser l'ascension ou la descente du Poisson en régularisant, suivant ses besoins, sa pesanteur spécifique ; elle établit que la présence de la vessie natatoire fait subir au Poisson une variation de volume qui est en raison directe de la pression, même dans les moindres mouvements d'ascension ou de descente.

» Un sentiment juste a déjà inspiré à plusieurs savants l'idée de substituer le terme de *vessie aérienne* à celui de *vessie natatoire*. Le mot *air bladder* des Anglais est préférable, pour le même motif, au mot *schwimmblase* des Allemands. »

## MÉMOIRES PRÉSENTÉS.

ANALYSE. — *Sur une application de la théorie des substitutions aux équations différentielles linéaires*; par M. C. Jordan.

(Commissaires : MM. Hermite, Puiseux.)

« L'équation différentielle linéaire

$$P = \frac{d^n y}{dx^n} + p_1 \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \ldots + p_n y = 0,$$

où $p, p_1, \ldots, p_n$ sont des fonctions monodromes de $x$, admet une infinité d'intégrales, correspondant à tous les systèmes de valeurs que l'on peut assigner à $y$ et à ses $n-1$ premières dérivées, pour la valeur initiale $x = x_0$. On sait d'ailleurs qu'en désignant par $y_1, \ldots, y_n$, $n$ intégrales particulières convenablement choisies, les autres seront données par la formule

$$y = C_1 y_1 + \ldots + C_n y_n,$$

où $C_1, \ldots, C_n$ sont des constantes.

» Faisons varier $x$ suivant une loi quelconque, en évitant les valeurs singulières qui rendent infinies les fonctions $p_1, \ldots, p_n$, et suivons les variations de l'intégrale $y_1$ et de ses dérivées, lesquelles seront parfaitement déterminées. Lorsque $x$ reviendra à sa valeur initiale $x_0$, $y_1$ et ses dérivées pourront avoir changé de valeur, de telle sorte qu'on aura passé de l'intégrale initiale $y_1$ à une autre intégrale de la forme $a_1 y_1 + \ldots + a_n y_n$. De même, on passera de l'intégrale $y_2$ à une autre intégrale de la forme $b_1 y_1 + \ldots + b_n y_n, \ldots$

» L'altération produite sur le système des intégrales de P pourra donc être représentée par la substitution linéaire

$$A = \left| \begin{array}{ll} y_1 & a_1 y_1 + \ldots + a_n y_n \\ y_2 & b_1 y_1 + \ldots + b_n y_n \\ \ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots \end{array} \right|.$$

» Si maintenant on modifie la loi de variation de $x$, on obtiendra un système de substitutions analogues à A, et formant évidemment un groupe, ainsi que l'a signalé M. Fuchs.

» L'étude de ce groupe est intimement liée à celle de l'équation différentielle P ; et l'on aura, ici comme pour les équations algébriques, trois catégories de problèmes à résoudre.

» 1° L'équation étant donnée, déterminer son groupe. Cette question est du ressort du Calcul intégral.

» 2° Trouver les conditions auxquelles le groupe doit satisfaire, pour que l'équation jouisse de telle ou telle propriété.

» 3° Le groupe étant connu, vérifier s'il satisfait aux conditions requises. Cette dernière question ne dépend plus que de la théorie des substitutions.

» Quant aux problèmes de la seconde sorte, ils seront en général faciles à résoudre.

» Ainsi, pour que les intégrales de l'équation $P = 0$ satisfassent à des équations algébriques ayant pour coefficients des fonctions synectiques de $x$, il sera nécessaire et suffisant que son groupe G ne contienne qu'un nombre limité de substitutions.

» Pour que l'équation $P = 0$ ait une intégrale commune avec une équation différentielle linéaire $Q = 0$, d'ordre $< n$, on voit immédiatement (*) qu'il sera nécessaire et suffisant que son groupe G ne soit pas primaire; c'est-à-dire qu'on pourra déterminer des fonctions linéaires $X_1, \ldots, X_m$ des variables $y_1, \ldots, y_n$, en nombre inférieur à celui de ces variables, et jouissant de la propriété que chaque substitution de G les remplace par des fonctions linéaires de $X_1, \ldots, X_m$.

» Nous nous trouvons ainsi conduit à la question suivante :

» Les substitutions A, B, C,... qui s'opèrent sur les intégrales autour de chaque point critique étant supposées connues, s'assurer si le groupe G dérivé de ces substitutions est primaire ou non, et, dans ce dernier cas, déterminer les fonctions $X_1, \ldots, X_m$.

» Un premier moyen de solution s'offre immédiatement à l'esprit. On n'a qu'à prendre successivement pour $m$ les valeurs $1, 2, \ldots, m-1$. Pour chaque valeur de $m$, on posera

$$X_1 = \alpha_1 y_1 + \beta_1 y_2 + \ldots, \quad \ldots, \quad X_m = \alpha_m y_1 + \beta_m y_2 + \ldots,$$

$\alpha_1, \beta_1, \ldots, \alpha_m, \beta_m, \ldots$ étant des coefficients indéterminés. Les substitutions A, B, C,... étant connues, on aura l'expression des fonctions de $y_1, \ldots, y_m$ qu'elles font succéder à $X_1, \ldots, X_m$. On égalera ces fonctions à des fonctions linéaires de $X_1, \ldots, X_m$ à coefficients indéterminés. Égalant séparément à zéro les coefficients des diverses variables $y_1, \ldots, y_n$, on obtiendra une série d'équations de condition, auxquelles doivent satisfaire les indéterminées introduites. On vérifiera si elles sont compatibles, et l'on en tirera la valeur des indéterminées.

(*) Frobenius, *Journal de M. Borchardt*, t. LXXVI.

» Malgré sa simplicité théorique, ce procédé présente un grave inconvénient. Les équations de condition auxquelles on se trouve conduit sont du second degré, et, les inconnues étant nombreuses, les éliminations deviennent impraticables.

» Au contraire, la méthode que nous exposons dans ce Mémoire réduit la question à la résolution d'équations à une seule inconnue, et dont le degré ne surpasse pas $n$. Elle est fondée tout entière sur la réduction des substitutions linéaires à leur forme canonique.

» Nous avons montré, dans une autre occasion, que cette réduction, pour une substitution linéaire à $n$ variables, dépend de la résolution d'une équation caractéristique du degré $n$.

» Cela posé, nous admetton d'abord (§ II de notre Mémoire) que l'on connaisse une substitution S, contenue dans le groupe G, et dont l'équation caractéristique n'ait pas toutes ses racines égales. Supposons que cette équation caractéristique ait $\mu$ racines du degré $m$ de multiplicité, $\mu'$ du degré $m'$, etc. Pour déterminer ces racines, il suffira de résoudre une équation de degré $\mu$, une équation de degré $\mu'$, etc. Cela fait, nous montrons que la question de reconnaître si G est ou non primaire revient à la question de savoir si certains groupes linéaires contenant respectivement $m$ variables, $m'$ variables, etc., sont ou non primaires. Les entiers $m$, $m'$,... étant $< n$, le problème se trouve réduit.

» Nous montrons ensuite (§ III), et c'est là le pivot de notre analyse, comment on peut déterminer, lorsqu'elle existe, une substitution S contenue dans le groupe G et jouissant de la propriété précédente. Nous faisons voir que, si G ne contient aucune substitution de cette sorte, il existe au moins une fonction linéaire X des variables $y_1, \ldots, y_n$, telle que les substitutions A, B, C,... la multiplient respectivement par des constantes déterminées $a$, $b$, $c$,.... Cette fonction (ou ces fonctions, s'il en existe plusieurs) se calculera aisément, et sans qu'on ait aucune équation à résoudre, par la méthode des coefficients indéterminés.

» Dans ce dernier cas, G ne pourra être primaire, et nous montrons que ses substitutions peuvent être ramenées, par un changement de variables, à la forme

$$\left|\begin{array}{ll} X,\ X',\ \ldots & aX,\ aX',\ldots \\ X_1,\ X'_1,\ldots & aX_1+f_1(X, X',\ldots),\ aX'_1+f'_1(X, X'\ldots),\ldots \\ X_2,\ \ldots\ldots & aX_2+f_2(X, X',\ldots, X_1, X'_1\ldots),\ldots \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right|. \text{ »}$$

GÉOMÉTRIE. — *Sur l'application de la théorie des formes binaires à la Géométrie plane.* Mémoire de M. LAGUERRE. (Extrait par l'auteur.)

(Commissaires : MM. Hermite, Serret, Puiseux.)

« **1.** Dans ce Mémoire, je considère, pour simplifier le langage, les figures comme rapportées à un système de coordonnées rectilignes $x$ et $y$; la variable $z$ est toujours supposée égale à l'unité, et je ne l'introduis que quand cela est utile pour la symétrie des formules.

» Cela posé, $\omega = ux + vy + wz = 0$ étant l'équation d'une droite, si les coefficients $u$, $v$ et $w$ sont liés entre eux par une relation homogène et du degré $n$, $F(u, v, w) = 0$, la droite enveloppe une courbe de $n^{ième}$ classe K.

» Si l'on pose

$$F(\mu, -\lambda, \lambda y - \mu x) = U(\lambda, \mu),$$

l'équation $U(\lambda, \mu) = 0$ donne, pour un système de valeurs de $x$ et de $y$, les coefficients angulaires des diverses tangentes que l'on peut mener de ce point à la courbe. On peut la désigner sous le nom d'*équation mixte* de la courbe, et, dans un Mémoire (*) antérieur, j'ai déjà exposé les conséquences les plus élémentaires qui résultent de cette notion.

» Mais, pour les développer utilement, plusieurs problèmes doivent être résolus, et en particulier le suivant : *Déterminer les équations mixtes des courbes que l'on obtient en égalant à zéro les divers covariants de* F.

» Tout d'abord, on aura à considérer les diverses polaires des droites du plan relativement à K, tant à cause de leur simplicité que du rôle principal qu'elles jouent dans cette théorie, puis la hessienne de K.

» En désignant respectivement par $W = 0$, $\Pi = 0$ et $\varpi = 0$ les équations mixtes de la hessienne, de la première et de la seconde polaire de la droite $\omega = 0$, on obtient la relation suivante

$$\omega^2 W = \begin{vmatrix} U_{11} & U_{12} & \Pi_1 \\ U_{12} & U_{22} & \Pi_2 \\ \Pi_1 & \Pi_2 & \varpi \end{vmatrix} \quad (^{**}).$$

---

(*) *Mémoire de Géométrie analytique* (*Journal de Mathématiques*, 2e série, t. XVII).

(**) Suivant un usage habituel, étant donnée une fonction quelconque Z de $\lambda$ et de $\mu$, et de degré $n$, je pose $Z_1 = \frac{1}{n}\frac{dZ}{d\lambda}$, $Z_{11} = \frac{1}{n(n-1)}\frac{d^2Z}{d\lambda^2}$, ....

» Cette forme remarquable du polynôme W est susceptible d'un grand nombre d'applications, et *même sans qu'il soit nécessaire de déterminer les coefficients de* $\Pi$ *et de* $\varpi$. En particulier, je citerai les deux propositions suivantes, qui jouent un rôle important dans la théorie des courbes de troisième et de quatrième classe.

» 1° Si deux courbes de troisième classe K et K', ayant respectivement pour équation mixte

$$(a,\ b,\ c,\ d)(\lambda,\ \mu)^3 = 0 \quad \text{et} \quad (a',\ b',\ c',\ d')(\lambda,\ \mu)^3 = 0,$$

ont les mêmes tangentes de rebroussement, le polynôme

$$ad' - 3bc' + 3cb' - da'$$

est identiquement nul.

» 2° Étant donnée une courbe de quatrième classe, dont l'équation mixte soit

$$U = (a,\ b,\ c,\ d,\ e)(\lambda,\ \mu)^4 = 0,$$

désignons par $(A, B, C, D, E, F, G)(\lambda, \mu)^6$ le covariant sextique de U, et considérons une courbe quelconque de sixième classe tangente aux vingt-quatre tangentes de rebroussement de la première courbe. L'équation mixte de la courbe de sixième classe étant

$$(a',\ b',\ c',\ d',\ e',f',\ g')(\lambda,\ \mu)^4 = 0,$$

le polynôme $Ag' - 6Bf' + 15Ce - 20Dd' + 15Ec' - 6Fb' + Ga'$ est identiquement nul.

» 2. Il est néanmoins nécessaire d'obtenir la valeur des coefficients de $\Pi$; on pourrait les exprimer facilement, mais par des formules dénuées de symétrie, au moyen des dérivées partielles des coefficients de U.

» Il est préférable de suivre une autre marche, et, à cet égard, je distinguerai deux cas suivant que la courbe est de classe paire $2n$ ou de classe impaire $2n+1$. Dans le premier cas, on considérera $n$ couples de variables $\mathfrak{x}, \mathfrak{y}, \mathfrak{x}', \mathfrak{y}', \ldots$ fonctions de $n$ invariants de U et de leurs dérivées partielles; en représentant par $\Delta$ le discriminant de U, et par $V, V', V'', \ldots$ $n$ de ses covariants du degré $2n$ convenablement choisis, W sera donné par une expression de la forme

$$\Delta W = (\mathfrak{x} V_1 + \mathfrak{y} V_2) + (\mathfrak{x}' V'_1 + \mathfrak{y}'_1 V'_2) + \ldots.$$

Si la courbe est de classe $(n+1)$, W s'exprimera également au moyen de

$n$ émanants et du produit d'un contrevariant de F par un de ses covariants du degré $2n+1$.

» Pour éclaircir ce qui précède, je donne ici les résultats pour les courbes de troisième et de quatrième classe.

» 1° Soient $U = 0$ l'équation mixte d'une courbe de troisième classe; $\Delta$ son discriminant et H son hessien. Soit de plus $\Theta$ le cayleyen de F (c'est-à-dire le contrevariant de F qui, égalé à zéro, représente la cayleyenne de la courbe). En posant

$$\mathfrak{x} = -v\Delta + \frac{\omega}{6}\frac{d\Delta}{dy}, \quad \mathfrak{y} = u\Delta - \frac{\omega}{6}\frac{d\Delta}{dx},$$

on aura

$$\Delta\Pi = \mathfrak{x}U_1 + \mathfrak{y}U_2 - 2\omega\Theta H.$$

» 2° Soient $U = 0$ l'équation mixte d'une courbe de quatrième classe, $\Delta$ son discriminant, H son hessien, S son invariant quadratique et T son invariant cubique.

» En posant

$$\mathfrak{x} = \frac{\omega}{12}\frac{d\Delta}{dy} - v\Delta, \quad \mathfrak{y} = -\frac{\omega}{12}\frac{d\Delta}{dx} + u\Delta,$$

$$\mathfrak{x}' = 2S\frac{dT}{dy} - 3T\frac{dS}{dy}, \quad \mathfrak{y}' = -2\frac{dT}{dx} + 3T\frac{dS}{dx},$$

on aura

$$\Delta\Pi = \mathfrak{x}U_1 + \mathfrak{y}U_2 + \frac{\omega}{3}(\mathfrak{x}'H_1 + \mathfrak{y}'H_2).$$

» 3. Le cayleyen $\Theta$ d'une courbe de $n^{ième}$ classe se déduit facilement de la proposition suivante, dans l'énoncé de laquelle j'ai conservé toutes les notations précédentes :

» *Le résultant de* H *et du jacobien de* U *et de* $\Pi$ *est* $\omega^{2(n-2)}\Delta\Theta$.

» En l'appliquant aux courbes de quatrième classe, on obtient cette relation remarquable

$$\Delta^5\Theta = pTU(\mathfrak{x}', \mathfrak{y}') + qH(\mathfrak{x}', \mathfrak{y}'),$$

où $p$ et $q$ désignent des invariants de U de l'ordre 18 et de l'ordre 20, et T l'invariant du troisième ordre.

» Une formule de M. Salmon indique que, dans ce cas, la cayleyenne a 126 points doubles; l'équation précédente montre qu'ils se réduisent à 21 points quadruples. Ces points $\delta$ jouissent de la propriété que les tangentes, menées de chacun d'eux à la courbe, ont leurs points de contact en ligne droite. On peut remarquer aussi que l'équation $U(\mathfrak{x}', \mathfrak{y}') = 0$ représente

la courbe du trente-sixième ordre, jouissant de la propriété que, des tangentes menées d'un de ses points à la courbe, trois sont en ligne droite (*).

» 4. L'introduction des polynômes $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{x}'$, $\mathfrak{y}'$,... se justifie par cette considération importante, que l'on n'a jamais à traiter que des invariants ou covariants de U; on peut donc (quoique ce soit complétement fictif) supposer la forme U réduite à sa forme canonique.

» Ainsi l'on pourra prendre pour équations mixtes des courbes de troisième et de quatrième classe les équations réduites

$$\lambda^3 + \mu^3 = 0, \quad \lambda^4 + 6m\lambda^2\mu^2 + \mu^4 = 0.$$

De même, pour la surface de troisième classe (car tout ce que j'ai dit dans cette Note s'applique aux surfaces algébriques), on pourra prendre pour équation mixte de la surface l'équation très-simple

$$\lambda^3 + \mu^3 + \nu^3 + 6m\lambda\mu\nu = 0.$$

» Dans le présent Mémoire, je n'ai exposé que les points principaux de la théorie; dans d'autres Mémoires spéciaux, j'en développerai les conséquences relativement aux courbes de troisième et de quatrième classe, ainsi que pour les surfaces de troisième classe. »

---

(*) En général, si la polaire d'une droite se décompose en un point P et une courbe résiduelle, le point P est un point $2(n-2)$ *tuple* de la cayleyenne.

Si d'un point $(x, y)$ on mène des tangentes à la courbe de quatrième classe K, l'équation de la tangente menée en ce point à la conique qui le contient, ainsi que les quatre points de contact, est

$$\xi\left(2S\frac{dT}{dx} - 3T\frac{dS}{dx}\right) + \eta\left(2S\frac{dT}{dy} - 3T\frac{dS}{dy}\right) + \zeta\left(2S\frac{dT}{dz} - 3T\frac{dS}{dz}\right) = 0;$$

cette même équation, si l'on y regarde $\xi$, $\eta$, $\zeta$ comme des paramètres arbitraires, et $x$, $y$, $z$ comme les coordonnées courantes, représente la courbe la plus générale du neuvième ordre, que l'on peut mener par les 52 points singuliers de la courbe.

L'équation de la courbe la plus générale du huitième ordre, que l'on peut mener par les 28 points doubles et les 21 points $\delta$, est

$$\begin{vmatrix} \xi & \eta & \zeta \\ \frac{dS}{dx} & \frac{dS}{dy} & \frac{dS}{dz} \\ \frac{dT}{dx} & \frac{dT}{dy} & \frac{dT}{dz} \end{vmatrix} = 0.$$

CHIMIE. — *Sur les chaleurs de combustion des diverses variétés de phosphore rouge*. Note de MM. L. Troost et P. Hautefeuille, présentée par M. H. Sainte-Claire Deville.

(Commissaires précédemment nommés : MM. H. Sainte-Claire Deville, Cahours, Berthelot.)

L'aspect du phosphore rouge dépend de la température la plus élevée à laquelle il a été soumis. Ce corps, préparé à 265 degrés, se présente en masse d'un rouge magnifique, à cassure vitreuse rappelant celle du réalgar par son éclat. Le phosphore rouge obtenu à 440 degrés est orangé, sa cassure est terne et grenue. Au-dessus de 500 degrés, il reprend de la compacité, et a une couleur gris violacé très-vif.

» Le phosphore préparé vers 580 degrés a une cassure conchoïde; la transparence des fragments très-minces nous fait penser que la masse a éprouvé un commencement de fusion pâteuse. A cette température, la plus élevée que nous ayons pu réaliser avec nos appareils, le phosphore rouge cristallise : quelquefois les cristaux d'un rouge rubis se développent dans le phosphore rouge d'aspect fondu et rappellent les géodes de quartz hyalin dans les agates ; souvent le phosphore rouge moulé sur le tube en verre dans lequel se fait l'expérience reste amorphe à la surface, tandis que son axe est sur toute la hauteur occupé par des cristaux très-déliés formant un feutrage divergent.

» Le phosphore rouge ne prend pas immédiatement l'aspect particulier que nous venons d'indiquer : il l'acquiert lentement si l'expérience se fait à une température peu élevée, rapidement si elle se fait au-dessus de 500 degrés.

» Les variétés qui cessent d'être modifiées par une nouvelle chauffe d'un grand nombre d'heures à la même température peuvent passer les unes aux autres par nuances insensibles quand on les porte à une température plus élevée maintenue longtemps constante.

» La densité, la chaleur de combustion, ces deux caractères intimement liés entre eux et caractéristiques de l'espèce, varient d'une manière continue dans les échantillons formés à des températures graduellement croissantes. C'est ce dont on peut se convaincre par l'examen des résultats numériques que nous donnons ci-dessous, et qui ont été obtenus à l'aide de matières d'une pureté exceptionnelle.

» Les densités ont été prises à la température de zéro par la méthode

du flacon; les chaleurs de combustion ont été fixées au moyen du calorimètre à mercure, en attaquant la matière réduite en poudre par une dissolution d'acide iodique, assez concentrée pour attaquer rapidement toutes les variétés sur lesquelles nous avions à expérimenter. Nous avons chaque fois vérifié que l'attaque était complète et que le poids d'acide phosphorique obtenu correspondait exactement au poids du phosphore employé (1).

» Le phosphore rouge, préparé en chauffant du phosphore blanc en tube scellé dans un bain d'huile, maintenu exactement à 265 degrés pendant six cent-cinquante heures et débarrassé, après refroidissement, du phosphore ordinaire, provenant de la condensation de la vapeur, a pour densité à zéro 2,148. Sa chaleur de combustion est supérieure de 320 calories par gramme à celle du phosphore rouge cristallisé.

» Ces résultats diffèrent considérablement de ceux que donne le phosphore rouge ordinaire. En effet, ce phosphore dégage jusqu'à 568 calories de plus que le phosphore rouge cristallisé.

» Le phosphore rouge, obtenu en chauffant du phosphore blanc pendant cinq cent-quarante heures à 360 degrés, a pour densité 2,19 et sa chaleur de combustion est supérieure de 298 calories à celle du phosphore rouge cristallisé.

» Le phosphore rouge, préparé à 500 degrés, a pour densité 2,293; sa chaleur de combustion est encore supérieure à celle de la variété cristallisée.

» Celui que l'on obtient vers 580 degrés, sous forme de masse fondue, n'a pu être préparé en assez grande quantité pour qu'on en prenne la densité; sa chaleur de combustion est inférieure de 50 calories environ à celle du phosphore rouge cristallisé.

» Quant au phosphore rouge cristallisé, produit aux dépens du phosphore rouge d'apparence fondue, il a pour densité à zéro 2,34. Il dégage, lorsqu'on le traite par la dissolution d'acide iodique assez concentrée pour l'attaquer complétement, 5272 calories par gramme.

» Nous voyons par ces nombres que le phosphore rouge préparé à des températures inférieures à 580 degrés, perd une certaine quantité de chaleur, lorsqu'on le chauffe assez fort pour obtenir sa cristallisation.

---

(1) Cette double vérification, sans laquelle la méthode n'offre pas l'exactitude nécessaire, n'a pu être obtenu avec le phosphore rouge du commerce, même le mieux purifié; c'est ce qui explique pourquoi l'on obtient des valeurs numériques variables d'une expérience à l'autre, lorsqu'on opère sur ce phosphore.

Au contraire, le phosphore rouge d'aspect fondu, préparé à 580 degrés, fixe une certaine quantité de chaleur en cristallisant.

» Les propriétés du phosphore rouge varient donc avec la température à laquelle on le produit, et ce corps ne présente les caractères qu'on est habitué à rencontrer dans les espèces bien définies que lorsqu'il est à l'état cristallin. »

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur les conditions qui déterminent le mouvement des grains de chlorophylle dans les cellules de l'*Elodea canadensis. Note de M. **Ed. Prillieux**, présentée par M. Brongniart.

(Renvoi à la Section de Botanique.)

« Il est hors de doute aujourd'hui que les grains de chlorophylle changent de position dans l'intérieur des cellules, sous l'action de la lumière; mais il reste encore à résoudre beaucoup de questions d'un grand intérêt, touchant la nature même du mouvement des grains de chlorophylle et la détermination des causes qui peuvent le produire.

» J'ai, dans le présent travail, cherché à distinguer nettement, sur un exemple choisi à dessein, les mouvements sur lesquels la lumière a de l'influence, et qui se produisent sur la plante intacte, de ceux qui se manifestent dans les cellules, à la suite des lésions qui ont été faites dans les tissus, pour les mettre en état d'être soumis à l'observation microscopique.

» Quand on coupe une feuille d'*Elodea canadensis* et qu'on l'observe immédiatement, on peut reconnaître l'état dans lequel se trouvaient les grains de chlorophylle à l'intérieur des cellules quand la feuille était encore portée par la plante; mais, au bout de peu de temps, on voit de profondes altérations se produire, par suite de l'amputation de la feuille, dans la disposition des grains de chlorophylle, d'abord le long de la nervure médiane, puis au delà, de proche en proche.

» Dans l'*Elodea*, comme dans toutes les autres plantes, les grains de chlorophylle ne sont pas répartis de la même façon quand la plante est demeurée à l'ombre ou qu'elle a été exposée au soleil. Dans le premier cas, les parois des cellules qui forment la face supérieure de la feuille sont parsemées régulièrement de grains verts espacés à égale distance les uns des autres; mais bientôt, sur une feuille préparée pour l'observation microscopique, on voit cette disposition s'altérer; les grains de chlorophylle, au lieu de demeurer aussi écartés que possible les uns des autres, se rapprochent par groupes; quelques-uns demeurent assez longtemps encore

isolés, puis tout à coup se portent avec rapidité vers un groupe voisin. En même temps, on voit apparaître, le long de la paroi supérieure, de petits courants de protoplasma, puis bientôt un mouvement général se manifeste dans le protoplasma, le long des parois latérales, et un large courant tourne tout autour de la cellule. Les petites traînées de plasma en mouvement, qui passent sous la face supérieure de la cellule, vont aboutir, par leurs extrémités, dans le grand courant circulaire.

» Les grains de chlorophylle situés dans le voisinage des courants semblent attirés vers eux; on en voit qui paraissent flotter indécis pendant quelque temps, portés çà et là comme par un remous, et qui bientôt s'approchent d'un courant et sont emportés par lui. Les uns après les autres ils sont entraînés ainsi et bientôt vont, en suivant les petits courants, se jeter dans le grand courant qui roule autour de la cellule. Au bout de quelque temps, il ne reste plus, dans une cellule, de grains verts hors du courant de plasma, quand le mouvement en est rapide.

» Les courants de plasma durent souvent plus d'un jour; peu à peu ils se ralentissent, puis s'éteignent. Les grains de chlorophylle ne reprennent pas alors leur position première : on les trouve disposés sans ordre régulier, le plus souvent à la face inférieure de la cellule.

» Si, au lieu d'examiner une feuille d'*Elodea* prise sur un pied tenu à l'ombre, on en observe une qui vient d'être exposée au soleil, on voit que les grains de chlorophylle y sont tout autrement disposés. Au lieu d'être disséminés sur toute la surface de la paroi, ils sont amoncelés en une masse unique sur un de ses points. Quand on observe pendant quelque temps une telle feuille placée sur le microscope hors de l'action directe du soleil, qui avait produit cet amoncellement des grains de chlorophylle, on voit d'abord se manifester une tendance à la dissémination de ces grains; çà et là quelques-uns se séparent de la masse générale, qui devient moins compacte; les grains tendent à s'écarter peu à peu les uns des autres. Pendant ce temps, les courants de plasma se manifestent, et les grains qui sont libres sont emportés par le mouvement, seuls d'abord, mais bientôt la masse tout entière est entraînée aussi par le grand courant circulaire : on la voit tourner tout autour de la cellule durant quelque temps, mais peu à peu elle diminue de volume en perdant constamment quelques-uns de ses éléments, et elle ne tarde pas beaucoup à se résoudre en grains isolés dans l'intérieur même du courant.

» Ainsi, quel qu'ait été le mode de groupement des grains de chlorophylle au moment où la feuille a été coupée, on voit se produire des mou-

vements qui sont très-différents de ceux qui ont déterminé la répartition des grains de chlorophylle sur la plante, et qui paraissent même être d'un autre ordre.

» Les déplacements qui se font sous l'action de la lumière sont lents : on constate un groupement des grains de chlorophylle autre quand la plante est demeurée exposée au soleil que quand elle est restée à l'ombre; mais on saisit difficilement à l'œil les mouvements de transport des grains d'une position à l'autre. Ces mouvements ne ressemblent en aucune façon à la course rapide où les courants de plasma entraînent les grains dans l'*Elodea*. Là ils sont charriés pêle-mêle et roulent les uns sur les autres; ils sont entraînés passivement : il n'y a pas à s'y méprendre.

» Dans les déplacements sur lesquels la lumière a de l'influence, les mouvements du plasma sont-ils encore la cause active du transport des grains? M. Roze a été de cet avis, M. Sachs le professe; je ne puis m'empêcher d'en douter. L'examen des mouvements qui se produisent parmi les grains d'*Elodea*, quand les premières altérations se manifestent dans la feuille coupée, me paraît de nature à entraîner la conviction. Quand on voit ces grains emportés dans divers sens tourner sur eux-mêmes, quand on les voit se porter tout à coup rapidement les uns vers les autres, comme si, l'équilibre qui les maintenait en place venant à être rompu, ils obéissaient à une attraction dominante vers une certaine direction, il paraît bien difficile de croire que c'est la contraction d'un fil de plasma qui les entraîne et les rapproche ainsi.

» La façon la plus naturelle d'exprimer les faits que l'observation fait connaître serait, ce semble, d'admettre que le groupement des grains de chlorophylle est déterminé par des attractions qu'ils exercent les uns sur les autres et que les membranes exercent sur eux.

» Je me propose d'exposer ma manière de voir sur ce sujet dans une Communication ultérieure. »

GÉOLOGIE. — *Les blocs et les cailloux roulés en grès rouge du drift de Saint-Brieuc.* Note de M. T. **Héna**. (Extrait.)

(Renvoi à la Commission précédemment nommée.)

« Avant que je vous eusse signalé la présence des cailloux roulés en silex, dans le drift de Saint-Brieuc, des paysans de la commune de Coëtmieux (14 kilomètres à l'est de Saint-Brieuc) m'avaient montré, en 1872, comme un objet de curiosité pour eux, un bloc arrondi, ou plutôt un énorme

galet en grès rouge, de la forme d'un œuf, long de 2 pieds environ sur 1 de large, et pesant au moins 60 kilogrammes, lequel avait été déterré à la profondeur de 1 mètre, sur le bord du Gouëssant.

» Ce galet n'étant accompagné, dans le drift des environs, que de blocs et de cailloux anguleux de même nature que les roches des terrains de transition du pays, j'étais embarrassé pour expliquer sa provenance, tout en doutant un peu que l'homme fût allé le chercher au loin pour l'enfouir là, loin de tout vestige d'habitation.

» Mais ayant trouvé depuis, des deux côtés de la baie de Saint-Brieuc, des cailloux du même grès rouge ou rosé, les uns à l'air libre, au pied des falaises, les autres dans l'argile même de ces falaises, je les ai rapprochés de celui de Coëtmieux.

» Il n'y a pas non plus de grès et de quartzite dans les roches de transition des environs de Saint-Brieuc. D'où viennent donc alors ces cailloux et ces blocs plus ou moins arrondis? Il faut remonter plus loin, à 24 kilomètres au nord-est, à Erquy, où il y a un gisement de grès semblable, tel que M. Dufrénoy l'a d'ailleurs décrit; et, à moins de faire provenir ces cailloux de l'Angleterre, ce qui est assez peu vraisemblable, c'est là que l'on doit trouver leur origine.

» Maintenant, par quels agents ont-ils été transportés de si loin? A moins de recourir aux glaces flottantes qui auraient enlevé des débris au gisement d'Erquy, on ne peut pas dire que la marée chasse des cailloux à de telles distances.

» Plusieurs des cailloux en grès rouge sont renfermés, comme je l'ai déjà dit, dans le drift même, et celui de Coëtmieux a été trouvé sur la très-faible déclivité d'un plateau élevé de 82 mètres au-dessus du niveau de la mer, et où la mer n'a pu arriver pendant la période géologique moderne. »

M. I. Lo Leconte adresse divers documents relatifs à un moteur hydro-atmosphérique.

(Commissaires : MM. Edm. Becquerel, Tresca, Resal.)

M. J. Dusart adresse une Note relative à son Mémoire concernant une machine à rotation.

(Renvoi à la Commission précédemment nommée.)

M. Ch. Lentz adresse une Note relative à la direction de l'aiguille ai-

mantée en divers points du globe, et au parti que l'on peut en tirer dans la navigation.

(Renvoi à l'examen de M. Jamin.)

M. G. Bastant adresse, de Barcelone, une Note relative à une modification de la pile de Bunsen.

(Renvoi à l'examen de M. Edm. Becquerel.)

M. C. Leroy transmet à l'Académie un Mémoire de feu M. *Leroy-Mabille*, son père, Mémoire portant pour titre « Le Phylloxera est le dernier symptôme et non la cause de la maladie de la vigne ».

M. Jourdan adresse une Note concernant un procédé de destruction du Phylloxera.

Ces divers documents seront transmis à la Commission du Phylloxera.

M. Chataing demande et obtient l'autorisation de retirer du Secrétariat les dessins qui accompagnaient son travail sur l'aérostation.

M. N.-E. Tremblay demande et obtient l'autorisation de retirer du Secrétariat un Mémoire sur le sauvetage maritime.

## CORRESPONDANCE.

M. le Président du Conseil d'administration de la Compagnie des Chemins de fer du Midi adresse à M. le Président la Lettre suivante :

« Les *Comptes rendus* de la séance de l'Académie des Sciences du 23 février 1874 portent que les fonds dont l'Académie pouvait disposer, en faveur de la Commission chargée par elle de l'étude des moyens propres à détruire le Phylloxera, sont presque épuisés, et que cette Commission pourra tout au plus faire compléter cette année les recherches commencées l'année dernière. L'Académie ajoute que cette Commission restreint ses études avec d'autant plus de peine, que l'examen scientifique de la question, assez avancé, permettrait de leur donner un caractère pratique. Nous nous empressons, monsieur le Président, de vous informer que nous tenons à la disposition de l'Académie des Sciences les fonds nécessaires pour que la Commission nommée par elle puisse, sous sa direction, mener à bonne

fin les études entreprises. Si jusqu'ici nous nous sommes abstenus d'offrir notre concours à l'Académie, c'est que nous croyions que le Gouvernement s'était engagé à lui fournir les sommes dont elle pouvait avoir besoin.

» *Signé :* ÉMILE PEREIRE. »

M. le **Ministre de l'Agriculture et du Commerce** adresse à l'Académie la Lettre suivante :

« Je viens d'avoir connaissance de la délibération de l'Académie des Sciences, en date du 23 février, qui exprime le regret de voir interrompre les travaux si utiles, commencés sous la direction de l'Académie, au sujet du Phylloxera.

» Comme j'ai eu l'honneur de l'écrire à M. Dumas, il y a peu de temps, le budget du Ministère de l'Agriculture et du Commerce ne comporte que des allocations très-limitées pour ce genre de recherches. Elles sont, en partie, absorbées par les travaux de la Commission spéciale qui fonctionne dans l'Hérault, sous la présidence de M. Marès, et à laquelle le Ministère renvoie les projets et inventions qui lui sont communiqués, afin de les soumettre à des expériences pratiques.

» J'avais lieu de penser que le Rapport d'une des Commissions de l'Assemblée nationale, qui s'occupe de cette importante question, pourrait venir sous peu en discussion et permettrait d'ouvrir de nouvelles allocations à ces études, d'un intérêt si capital pour l'avenir de notre viticulture.

» Mais, comme cette discussion peut se trouver retardée par la prorogation de l'Assemblée pendant les vacances de Pâques, je ne veux pas tarder plus longtemps à mettre des ressources spéciales à votre disposition, et j'ai l'honneur de vous faire connaître que j'ai, par une décision de ce jour, ouvert un crédit de 20 000 francs pour les études et expériences à faire en 1874, sous la direction de l'Académie des Sciences, pour le Phylloxera. »

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Les premiers numéros du « Bulletin du volcanisme italien », rédigé par M. *E. de Rossi* ;

2° Une brochure publiée en anglais par M. *W.-J. Henwood*, et intitulée « Observations sur le minerai d'étain d'alluvion ». Cette publication emprunte son intérêt à la longue expérience que l'auteur a acquise dans l'étude des mines d'étain du Cornouailles ; il fait observer que, l'exploitation

des minerais d'étain des archipels asiatiques et de l'Australie ayant fait aujourd'hui tomber l'étain et les minerais de ce métal à des prix extrêmement bas, les exploitations des minerais d'alluvion semblent ne plus pouvoir, dorénavant, se maintenir avec bénéfice. Peut-être ne verra-t-on subsister en Cornouailles que celles où l'on extrait l'étain concurremment avec le cuivre.

M. **Bertrand** présente, au nom de son frère M. Alexandre Bertrand, Directeur du Musée de Saint-Germain, une Note sur le kestre ou kestrosphendone des anciens. Cet instrument de guerre, comme l'indique l'étymologie, consistait en un trait lancé par une fronde.

» Comment lançait-on ce trait, qui partait avec la rapidité d'une balle de plomb? Quelle était la forme de la fronde, pour qu'un pareil dard pût s'y adapter? Quelles étaient les conditions d'un jet sûr et juste? Ces questions, posées par plusieurs savants, n'avaient pas été résolues jusqu'ici; le texte de Tite-Live, qui décrit le kestre, avait paru obscur à tous les commentateurs, et les essais de restitution de l'instrument n'avaient donné aucun bon résultat.

» M. Alexandre Bertrand a été plus heureux en suivant scrupuleusement un texte de Polybe (*Polybii reliquiæ*, livre XXVII), *apud Suidam* (édition Didot, t. II, p. 22); il a aperçu plusieurs conditions peu importantes en apparence et qui lui ont permis, avec l'habile collaboration du chef des ateliers de Saint-Germain, M. Abel Maître, de construire l'instrument qui peut lancer une flèche à 70 mètres de distance avec assez de force pour qu'elle pénètre en terre de plusieurs doigts.

» La fronde, c'est là le point essentiel, doit avoir les deux bras inégaux: δυοῖν κώλων ἀνίσων ὑπαρχόντων: «Funda media duo funalia imparia habebat.

» L'étude mécanique du phénomène peut donner l'explication de cette disposition :

» La flèche, quand elle est emprisonnée entre les deux cordons de la fronde et tourne avec le bras de celui qui la lance, est animée d'un double mouvement : un mouvement circulaire du centre de gravité et une rotation de même durée autour de ce centre; cette rotation est acquise et persistera quand la flèche sera libre si on ne la détruit pas. Il faut donc, après avoir lâché un des cordons, que l'action de l'autre exerce, pendant le court instant qui lui est laissé avant que la flèche l'abandonne, un couple capable de produire autour du centre de gravité une rotation égale et contraire à celle qui est acquise; or ce couple dépend de l'*inclinaison de la*

*flèche* et de la tension du fil, qui, ne pouvant varier brusquement, restera à très-peu près égale à ce qu'elle était pendant la rotation de la fronde.

» Tels sont les éléments d'un calcul devenu très-simple, dont le résultat le plus intéressant semble celui-ci, que l'expérience confirme : lorsque le système est bien réglé pour une certaine vitesse, il le sera de même pour toutes les autres, et la même fronde pourra servir indifféremment à l'archer le plus vigoureux ou aux jeux d'un petit enfant. »

MÉCANIQUE MOLÉCULAIRE. — *Sur les lois de la distribution plane des pressions à l'intérieur des corps isotropes dans l'état d'équilibre limite.* Note de M. J. **Boussinesq**, présentée par M. de Saint-Venant.

« Un des cas les plus simples de l'équilibre d'un corps se présente quand son état mécanique est symétrique par rapport à un plan vertical (que je prendrai pour celui des $xy$) et le même le long de toute parallèle à l'axe (des $z$) qui lui est normal. Les équations exprimant l'équilibre d'un élément de volume se réduisent aux deux suivantes (notations de Lamé) :

$$(1) \qquad \frac{dN_1}{dx} + \frac{dT}{dy} + \frac{d\Phi}{dx} = 0, \quad \frac{dT}{dx} + \frac{dN_2}{dy} + \frac{d\Phi}{dy} = 0,$$

où j'ai mis les deux dérivées d'un certain potentiel donné $\Phi$ pour les composantes $\rho X$, $\rho Y$ de l'action extérieure. Ces deux équations indéfinies ne suffisent pas pour déterminer les trois fonctions inconnues $N_1$, $N_2$, $T$ ; mais il était aisé de prévoir qu'une au moins des trois équations indéfinies nécessaires ne pourrait pas se déduire des formules générales de l'équilibre et résulterait de la nature particulière du corps. En effet, la matière, même en nous bornant au cas où elle est non-seulement homogène, mais encore isotrope, c'est-à-dire constituée pareillement dans tous les sens, doit transmettre les pressions de différentes manières, suivant qu'elle se trouve soit à l'état *élastique*, *solide*, *fluide* ou *pulvérulente*, soit dans cet état d'*équilibre limite* qu'on appelle *plastique* pour les solides, *ébouleux* pour les masses inconsistantes.

» Quand le corps, à l'état élastique, est solide ou pulvérulent, on a pour troisième équation la première ou la seconde de celles-ci :

$$(2) \quad \begin{cases} \dfrac{d^2N_2}{dx^2} + \dfrac{d^2N_1}{dy^2} - 2\dfrac{d^2T}{dx\,dy} - \dfrac{\lambda}{2\lambda + 2\mu}\left(\dfrac{d^2}{dx^2} + \dfrac{d^2}{dy^2}\right)(N_2 + N_1) = 0, \\ \left(\dfrac{d^2}{dx^2} - \dfrac{d^2}{dy^2}\right)\left(\dfrac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}\right) + 4\dfrac{d^2}{dx\,dy}\left(\dfrac{T}{N_1 + N_2}\right) = 0, \end{cases}$$

qui se réduisent bien à des identités par la substitution à $N_1$, $N_2$, $T$ de leurs

expressions en fonction des dérivées partielles des déplacements $u$, $v$, $w$, dont l'un, $w$, est supposé nul, tandis que les deux autres dépendent de $x$ et de $y$ (*).

» Quand, au contraire, l'équilibre est *limite*, la troisième équation cherchée devient une simple relation sous forme finie entre $N_1$, $N_2$, T. C'est ce qu'on voit, pour les solides, en observant que ces corps, soumis à des actions inégales en divers sens et très-graduellement croissantes, commencent à éprouver des déformations permanentes sensibles dès que les deux dilatations principales $\partial$, $\partial'$ produites en un point (**) atteignent des valeurs vérifiant la relation $\partial - \partial' = f(\partial + \partial')$, où $f$ désigne une certaine fonction positive : on dit alors que les *limites d'élasticité* de la matière sont *atteintes*. Si les actions déformatrices continuent à croître, les positions dites d'*état naturel* (ou à partir desquelles se comptent les déplacements élastiques) des diverses particules qui constituent le corps changent à chaque instant; d'ailleurs l'expérience montre que si l'on s'oppose à la désagrégation au moyen de pressions convenablement appliquées, le corps reste constitué par rapport à ces nouvelles positions d'équilibre, à part une légère altération de l'isotropie, comme il l'était dans son état primitif par rapport aux premières, en ce sens du moins que ses coefficients d'élasticité changent peu; mais en même temps la structure moléculaire devient plus stable, car la fonction $f$, qui mesure à chaque instant la plus grande déformation élastique possible $\partial - \partial'$, se transforme et croît, pour une même valeur de la dilatation cubique $\partial + \partial'$, de manière que la persistance des mêmes actions n'amène pas sans cesse de nouvelles déformations permanentes. Enfin, les actions déformatrices grandissant encore, il arrive un moment où la fonction $f$ atteint une valeur maximum qu'elle ne peut pas dépasser, et où, par conséquent, le corps n'est plus apte à prendre une constitution qui permette aux déformations de s'arrêter : l'équilibre limite, caractéristique de l'état plastique, se produit à ce moment. Or, si dans la relation $\partial - \partial' = f(\partial + \partial')$ on substitue à $\partial$, $\partial'$ leurs expressions connues en fonction des forces principales correspondantes F, F', il vient

$$F - F' = 2\mu f\left(\frac{F + F'}{2\lambda + 2\mu}\right),$$

(*) Les expressions dont je parle sont celles de Lamé, à deux coefficients $\lambda$, $\mu$, pour les corps solides, et celles de ma Note du 29 décembre 1873 [formule (1), *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 1521], pour les masses sans cohésion.

(**) Je fais abstraction de la troisième dilatation principale parallèle à l'axe des $z$, et qui est supposée nulle.

et c'est l'équation cherchée. En général, les corps très-malléables, que l'on a ici particulièrement en vue, résistent bien moins aux changements de forme qu'aux changements de volume, et l'inverse, $\lambda + \frac{2}{3}\mu$, de leur coefficient de compressibilité doit être très-grand par rapport à leur coefficient de rigidité $\mu$ : on peut donc supposer à une première approximation $2\lambda + 2\mu = \infty$, ce qui réduit l'équation à $F - F' = 2\mu f(o) =$ une const. $2K$; mais il est préférable de garder, en outre, dans le développement de la fonction $f$ par la série de Maclaurin, le terme du premier degré par rapport à $F + F'$, ce qui donnera une équation de la forme $F - F' = 2K - a(F + F')$.

» Les mêmes considérations s'appliquent à l'état ébouleux, à cela près, d'une part, qu'il ne paraît pas y avoir chez les corps pulvérulents diverses structures moléculaires susceptibles de se produire successivement à mesure que les actions déformatrices croissent ; ce qui revient à dire que la période intermédiaire, improprement appelée période d'*élasticité imparfaite*, n'existe pas pour eux, et, d'autre part, que la dilatation cubique $\partial + \partial'$ y est sensiblement nulle. L'équation de l'*état ébouleux* est donc $\partial - \partial' = f(o)$, ou, en substituant à $\partial$, $\partial'$ leurs expressions en F, F' et désignant par $a$ une constante, $F - F' = a(F + F')$. »

GÉOLOGIE. — *Sur le frottement des glaciers et l'érosion des vallées;* par M. Ch. Grad.

« L'eau qui gèle désagrége rapidement les parties superficielles des roches exposées à l'air; les roches recouvertes par d'épais glaciers échappent à la désagrégation par la gelée. Une observation attentive des sommets ou des crêtes émergeant au-dessus des glaces fait voir la destruction continue, sous les influences atmosphériques, des aspérités ou des corniches rocheuses en saillie sur les flancs des hautes montagnes, de manière à les faire constamment changer d'aspect. Ce travail d'érosion activé par les eaux courantes travaille sans relache à élargir et à approfondir les vallées, dans une mesure plus ou moins considérable. Au contraire, les surfaces rocheuses, que de grands glaciers recouvrent, subissent sous leur frottement une usure toute superficielle, à peine sensible après un temps bien long. Bref, la formation des vallées ne peut être attribuée aux glaciers, car les glaciers, au lieu de creuser les flancs des montagnes, exercent sur celles-ci une action conservatrice, en les protégeant contre les attaques de l'atmosphère et des eaux courantes.

» Quand un glacier passe sur un fond accidenté, on peut souvent péné-

trer à l'intérieur de la masse pour observer son action sur les roches en contact. Dans ce cas, la glace en mouvement ne remplit pas exactement les creux situés à sa base; elle recouvre les creux des rochers, comme une voûte. Les parties élevées et en saillie du roc supportent seules la pression du glacier, sont seules soumises au frottement, seules polies. Les parties inférieures et restées libres se trouvent d'autant mieux garanties, que les saillies s'élèvent davantage ou que la pente du fond a une plus grande inclinaison. Ainsi les petites aspérités opposées au mouvement du glacier sont peu à peu usées et nivelées, tandis que les dépressions, les cavités à parois verticales, ou à peu près verticales, ne subissent, du côté d'aval, aucune altération par un frottement directement exercé sur cette face. Si la hauteur de ces parois vient à diminuer, c'est par suite de l'usure graduelle du roc de haut en bas, qui tend à niveler le lit du glacier. On observe fort bien ce phénomène sur la rive droite du grand glacier de Gorner, à la base du mont Riffel, près de Zermatt, dans les Alpes. Ordinairement peu rapide, l'usure des roches moutonnées sous les glaciers dépend de la dureté de la pierre, de la masse du glacier et de la vitesse de son mouvement. Quant au frottement ou au striage, il s'exerce au moyen des grains quartzeux ou des pierres incrustées dans la glace en mouvement et faisant office de burins.

» Comme nous l'avons vu, l'action continue des glaciers sur leur lit peut, à la longue, réduire les roches moutonnées ou en saillie en surfaces nivelées, parfaitement polies. Si la masse en mouvement a une grande vitesse, elle réussit à niveler en un temps bien plus court les aspérités peu considérables opposées à son passage. M. Streenstrup a fait connaître, entre autres, la relation de la débâcle d'un glacier situé près du mont Kötlajia, vers l'extrémité méridionale de l'Islande, qui a produit des effets extraordinaires. Suivant cette relation, des courants d'eau formés sous le glacier acquirent une force telle, qu'ils emportèrent dans la mer des masses de glaces prodigieuses, après un parcours de 12 kilomètres. Le sol, laissé à découvert par suite de la débâcle, offrait l'aspect d'un parquet fraîchement raboté; peut-être une partie des roches striées ou polies de la Suède doivent-elles leur aspect à la même cause. En tous cas, les surfaces polies ou nivelées sont communes au Groënland, dans le voisinage immédiat et à la base des glaciers actuels. Il y en a aussi de bien remarquables à la Helleplatte, au-dessus de la chute de la Handeck, dans les Alpes; et dans les Vosges, au Glattstein de Wesserling, où elles conservent encore toute leur fraîcheur primitive, après des milliers d'années. Les polis glaciaires du Glattstein à Wesserling, produits sur une roche mamelonnée que le courant

d'eau de la Thur baigne à sa base, présentent les mêmes caractères que les roches moutonnées laissées à découvert par la retraite du glacier de Viesch, dans la vallée du Rhône, pendant ces dernières années, et au pied desquelles passe également le torrent issu du glacier. Au glacier de Viesch, comme à Wesserling, les surfaces polies par le frottement du glacier se distinguent nettement, par leur surface brillante et leurs stries fines, des polis à aspect mat et sans stries des mêmes roches exposées à l'atteinte du courant.

» Roches moutonnées et surfaces polies avec stries attestent l'existence ou l'action des glaces sur des points dont les glaciers ont maintenant disparu. En mettant en évidence le frottement des glaciers, les roches moutonnées, surtout quand elles présentent encore une face intacte et sans stries, montrent de plus que les glaciers, dans les conditions normales, usent lentement les roches opposées à leur marche et n'ont pas creusé les vallées dans lesquelles ils se meuvent. Par conséquent, ces vallées avec leurs aspérités et leur fond accidenté ont été soumises à l'érosion atmosphérique avant l'apparition des glaciers. Certains géologues croient pouvoir attribuer le creusement des vallées des Alpes, la formation des fjords de la Norwége ou du Groënland à l'action des glaciers. Aucune hypothèse n'est moins fondée : les glaciers actuels sont les restes des grands glaciers anciens, et nous constatons que, depuis leur apparition, ils ont usé seulement à une faible profondeur les roches exposées à leur frottement. Nous voyons encore sous le glacier de Gorner, près Zermatt, des roches moutonnées, arrondies et polies en amont, avec le côté tourné en aval encore intact, atteindre une élévation de 2 à 3 mètres au-dessus du fond. Toutes les faces des creux sans indice de frottement, qui existent entre les roches moutonnées, prouvent que ces creux ne sont pas un produit du glacier; que le glacier a usé les roches sur une épaisseur peu considérable. Dès lors, comment expliquer l'origine des vallées par l'érosion des glaciers? Si le frottement des glaciers est incapable de produire les creux ou les dépressions existant entre les saillies des roches arrondies sous son influence, à bien plus forte raison les vallées profondes ne peuvent lui devoir leur formation. Une observation attentive des faits nous amène à attribuer aux glaciers une action conservatrice, parce que, en usant les roches qu'ils touchent, dans une certaine mesure, ils les protégent contre une destruction plus rapide par la corrosion de l'atmosphère, de l'eau, de la gelée. Partout les surfaces polies sont moins facilement entamées que les surfaces rugueuses, et les glaciers après leur retraite laissent le roc dans de meilleures condi-

tions de résistance contre les attaques combinées de l'eau, du froid et de la chaleur.

» Sans réunir ici toutes les preuves contraires à l'érosion des vallées par les glaciers, je mentionnerai cependant la formation des moraines profondes, la présence de ravins profonds creusés par les torrents à la base même des glaciers, bien au-dessous du niveau des surfaces polies, le maintien des petites rigoles qui sillonnent ces surfaces et servent à l'écoulement des eaux, sans être aplanies par le frottement de la glace. Ces petites rigoles n'existeraient, ou ne se maintiendraient pas, si l'usure par le frottement des glaciers était supérieure à l'action corrosive de l'eau. Les torrents issus de tous les glaciers que j'ai eu l'occasion de voir s'écoulent par un lit plus ou moins profond, creusé par les eaux bien au-dessous du niveau des surfaces polies en contact avec la base des glaciers. Sous ce rapport, je rappellerai notamment un exemple connu de tous les visiteurs de l'Oberland bernois : le profond ravin du torrent de Rosenlaui creusé dans les schistes lustrés, friables, rabotés à leur surface et laissés à découvert sur une grande étendue, par suite de la retraite du glacier depuis l'année 1860. Dans bien des parties des Alpes, les courants d'eau s'engouffrent au fond d'un lit, antérieur non-seulement à l'apparition des glaciers, mais qui ne doit pas même son origine à l'érosion et occupe des fissures, ouvertes manifestement lors du soulèvement des montagnes par suite de dislocation ou d'une rupture subite de la croûte terrestre. Ainsi, le torrent de Vernagt, dans le Tyrol autrichien, s'écroule par une fissure à parois verticales, ouverte dans le roc à 30 ou 40 mètres au-dessous du fond de la vallée, où l'on remarque une cuvette arrondie présentant sur le gneiss des surfaces rabotées et usées par le frottement du glacier lors de sa grande extension. D'ailleurs, à la hauteur où la température du sol s'arrête à zéro, ce qui a lieu dans les Alpes entre 2300 et 2500 mètres d'altitude, la glace reste gelée au sol et adhère au roc de manière à n'exercer plus aucun frottement ni produire aucune usure. Enfin, la formation des moraines profondes sous les glaciers, au moyen des matériaux tombés au fond des crevasses, des blocs et des fragments de pierre, réunis en dépôts non stratifiés avec la boue provenant de la trituration et de l'usure des roches exposées au frottement, l'apparition de ces moraines partout où la glace ne passe pas sur des surfaces rocheuses, sont manifestement contraires au creusement des vallées par les glaciers. Ni les vallées des Alpes, ni les lacs de l'Italie et de la Suisse, ni les fjords de la Norvége et du Groënland ne doivent leur origine à l'érosion des glaciers. Je me réserve d'appuyer encore cette assertion par de plus amples détails. »

MINÉRALOGIE. *Nature chimique du sulfure de fer* (troïlite) *contenu dans les fers météoriques.* Note de M. STAN. MEUNIER, présentée par M. Daubrée.

« Il y a déjà plusieurs années que j'ai émis l'opinion (1) que la troïlite, loin d'être, comme le veut M. Lawrence Smith (2), un simple protosulfure de fer, est une variété de la pyrrhotine de Breithaupt ($Fe^7S^8$). Cette opinion s'appuyait sur les résultats obtenus dans l'analyse de diverses troïlites, soumises au préalable à une série de purifications complétement négligées jusque-là.

» Toutefois, comme le protosulfure de fer donne à l'analyse des nombres extrêmement voisins de ceux qui satisfont à la formule précédente, il y avait lieu de rechercher quelque réaction propre à faire distinguer nettement l'un de l'autre les deux composés sulfurés. Une distinction de ce genre est fournie par la solution aqueuse et froide du sulfate de bioxyde de cuivre. Ce sel, en effet, donne lieu avec le protosulfure de fer à un dépôt instantané de cuivre métallique, tandis que la troïlite, de même que la pyrrhotine terrestre, reste absolument inattaquée (3).

» Cette confirmation de l'analyse n'a cependant pas semblé suffisante à tous les minéralogistes. M. Rammelsberg, dans un Mémoire relatif à la nature chimique des météorites (4), paraît contester, jusqu'à un certain point, la rigueur de mes résultats et maintient la formule FeS.

» Il reproduit, d'une part, les nombres que lui a fournis l'examen de la troïlite du fer de Seelasgen, et, d'un autre côté, il assure que la troïlite détermine la décomposition du bichlorure de mercure.

» Pour le premier point, il suffira de répéter que, l'analyse du minéralogiste allemand portant sur une matière très-impure, ses résultats (qui d'ailleurs ne cadrent pas absolument avec la formule FeS) ne peuvent être acceptés sans discussion, surtout dans un cas où, comme celui-ci, l'hésitation a lieu entre deux compositions extrêmement voisines.

» En ce qui touche le second point, on voudra bien remarquer d'abord qu'il y a loin du sulfate de cuivre au bichlorure de mercure, quand il s'agit de précipitations métalliques. On sait, par exemple, que le fer de

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XVII, p. 43; 1869.

(2) *Tenth Annual Report of the Smithsonian Institution*, p. 153.

(3) *Réaction nouvelle permettant de distinguer le protosulfure de fer de la pyrite magnétique* (*Cosmos* du 18 janvier 1868).

(4) *Abhandlungen der K. Acad. d. W. zu Berlin*, année 1870, p. 84.

Charcas, inerte vis-à-vis du premier sel, précipite instantanément le second (1). De plus, j'ai répété l'expérience de M. Rammelsberg, sans pouvoir obtenir, même après plusieurs heures, aucune précipitation de mercure; mais cette précipitation eût-elle lieu qu'il n'en résulterait rien contre mes conclusions.

» On peut s'assurer, en effet, que la troïlite ne décompose pas le vitriol bleu dans des circonstances où le protosulfure de fer détermine le dépôt du cuivre métallique; cela suffit pour constituer un caractère distinctif.

» D'ailleurs, on peut aller plus loin.

» Une très-intéressante réaction a été récemment signalée par M. Jannettaz (2). Elle consiste en ce que, sous l'influence du bisulfate de potasse en dissolution aqueuse, un protosulfure (galène, blende) donne lieu à un dégagement très-sensible d'hydrogène sulfuré; tandis que rien de pareil n'a lieu si le sulfure en expérience offre une autre constitution. Cela posé, si l'on répète cette petite manipulation avec le protosulfure de fer artificiel, on constate un dégagement très-abondant d'hydrogène sulfuré. Avec la troïlite, au contraire, aucune odeur ne se fait sentir, et, pour le dire en passant, il en est de même avec la pyrite magnétique.

» De telle façon que, sans parler de sa composition, tous les caractères de la troïlite l'éloignent du protosulfure de fer pour la rapprocher de la pyrrhotine. Il est vrai que sa densité est plus forte que celle des variétés les plus ordinaires de pyrrhotine; mais on trouve cependant des pyrrhotines nickélifères, comme celles de Horbach, dans le pays de Bade, qui, d'après M. Rammelsberg lui-même, pèsent 4.7 (3). Ajoutons que la composition de cette pyrite magnétique, telle que le chimiste allemand l'a déterminée, est, on peut le dire, *identique* à celle de la troïlite du fer de Charcas purifiée, au point que les deux analyses pourraient se prêter un mutuel contrôle. »

MINÉRALOGIE. — *Sur un phosphate de cérium renfermant du fluor.* Note de M. F. **Radominski**, présentée par M. Daubrée.

« Dans une excursion scientifique que j'ai faite l'année dernière en Suède et en Norwége, je recueillis une certaine quantité d'un minéral me

(1) *De l'emploi du bichlorure de mercure dans l'étude des fers météoriques* (*Cosmos* du 16 mai 1868).

(2) *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 833; 1873.

(3) *Poggendorff's Annalen*, t. CXXI, p. 361.

paraissant nouveau, trouvé à Korarfvet près de Fahlun (Suède). Dans le pays on le considère comme étant de la monazite. Il contient en effet de l'acide phosphorique, les oxydes de cérium, lanthane et didyme ; mais un examen plus attentif m'a prouvé qu'il renferme une quantité notable de fluor, ce qui n'a pas lieu pour les monazites connues jusqu'à présent.

» Voici en quelques mots ses propriétés. Couleur jaune clair passant au brun, éclat faiblement vitreux, translucide. Densité $= 4,93$. Sa poussière est d'un jaune grisâtre. On trouve ce minéral en cristaux imparfaits, à faces rugueuses, ou en masses cristallines. Il existe un clivage très-net, dont je ne puis pas encore déterminer la direction. Souvent les cristaux sont très-volumineux; un des échantillons que j'ai rapportés, et qui figure dans les collections de l'École des Mines, pèse environ 1150 grammes. Quant aux propriétés optiques, M. Des Cloizeaux a trouvé que c'est une matière biréfringente.

» L'acide chlorhydrique l'attaque difficilement et incomplétement en dégageant du chlore. L'acide sulfurique et le bisulfate de potasse l'attaquent complétement. Au chalumeau il est infusible ; on trouve ce minéral disséminé dans du feldspath albite; il est presque toujours associé à la gadolinite, la hjelmite (variété d'yttrotantale), l'émeraude, etc.

» Cette substance manque complétement d'homogénéité; c'est là que réside la principale difficulté, au point de vue de l'analyse. Voici la moyenne de plusieurs analyses faites sur des fragments triés à la loupe :

| | |
|---|---|
| Oxyde de cérium, » de lanthane, » de didyme | 67,40 |
| Chaux | 1,24 |
| Magnésie | traces. |
| Oxyde de fer | 0,32 |
| Acide phosphorique | 27,38 |
| Fluor | 4,35 |
| | 100,69 |

» Le minéral contient en outre des traces d'eau.

» Ce résultat ne peut donner qu'une indication approchée de la nature de cette substance, la matière sur laquelle j'ai opéré étant trop impure pour que je puisse lui assigner une formule définie.

» Il serait très-intéressant de voir à quel groupe de phosphates naturels on pourrait rattacher ce phosphate céreux, et d'en déduire les rapprochements qui existent entre le cérium et les métaux mieux connus.

» Je me réserve l'étude de cette question sur des cristaux plus purs, qui m'ont été promis en Suède. J'ai d'ailleurs entrepris des expériences pour reproduire par la synthèse une combinaison analogue. J'ai déjà obtenu un produit cristallisé sur lequel je reviendrai plus tard.

» Si les recherches ultérieures, faites sur une matière offrant toutes les garanties d'homogénéité, confirment l'analyse dont je viens de présenter les résultats, je propose de donner au minéral le nom de Korarfveïte, pour rappeler la localité dans laquelle on a trouvé cette substance intéressante. »

A 5 heures trois quarts, l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 6 heures un quart. É. D. B.

---

## BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

### Ouvrages reçus dans la séance du 9 mars 1874.

( suite. )

*Notice sur les tourbières supra-aquatiques du haut Jura; par* M. H. Resal, Membre de l'Institut. Besançon, imp. Dodivers et Cie, 1873; br. in-8°, avec plan manuscrit.

*La Kabylie et les Kabyles; par* A. Hanoteau, général de brigade, et A. Letourneux, conseiller à la Cour d'appel d'Alger. Paris, Imprimerie nationale, 1872 et 1873; 3 vol. in-8°.

*Mémoires de l'Académie des Sciences, Agriculture, Arts et Belles-Lettres d'Aix;* t. X. Aix, imp. M. Illy, 1873; in-8°.

*Séance publique de l'Académie des Sciences, Agriculture, Arts et Belles-Lettres d'Aix*, 1872 et 1873. Aix, imp. M. Illy; 2 br. in-8°.

*Recueil des Actes du Comité médical des Bouches-du-Rhône*, publié sous la surveillance du Président, M. C. Lieutard; t. XII. Marseille, typ. Cayer et Cie, 1873; in-8°. (2 exemplaires.)

*Société des amis des Sciences naturelles de Rouen;* 9e année, 1873, 1er semestre. Rouen, imp. L. Deshays, 1873; in-8°.

*Annales de la Société d'Émulation du département des Vosges;* t. XIV, 1er cahier. Épinal, E. Gley; Paris, A. Goin, 1871; in-8°.

*Mémoires de la Société d'Agriculture, de Sciences et d'Arts séant à Douai;* 2e série, t. XI, 1870-1872. Douai, Lucien Crépin, 1873; in-8°.

*Société des Sciences naturelles et archéologiques de la Creuse;* t. IV, 2e Bulletin. Guéret, imp. Dugenest, 1873; in-8°.

*Mémoires de la Société d'Agriculture, Commerce, Sciences et Arts du département de la Marne;* année 1872-1873. Châlons-sur-Marne, F. Thouille, 1873; in-8°.

*Annales de la Société entomologique de Belgique;* t. XVI. Bruxelles, 1873; in-8°.

*Traité pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale; par* G. PLANCHON; t. I, fascicule 1. Paris, F. Savy, 1874; in-8°. (Présenté par M. Decaisne.)

*De l'assistance médicale constituée en service public. Pétition adressée à l'Assemblée nationale par* A.-J. MANUEL. Gap, typ. J.-C. Richaud, 1874; br. in-8°. (3 exemplaires.)

*De la mort apparente chez le nouveau-né; par* le Dr J. MARTEL. Paris, J.-B. Baillière, 1874; in-8°. (Présenté par M. le Baron Cloquet.)

*Du Phylloxera et d'un nouveau mode d'emploi des insecticides; par* M. E. FALIÈRES. Bordeaux, imp. A. Bellier, 1874; br. in-8°.

*Ministère de l'Agriculture et du Commerce. Le Phylloxera. Submersion des vignes. Visite de la Commission départementale de l'Hérault au domaine de M. Faucon, à Graveson.* Paris, G. Masson, 1874; in-8°.

*Exposé des titres et travaux scientifiques de* J.-N. DEMARQUAY. Paris, E. Martinet, 1874; in-4°.

*Clinique médicale; par* le Dr Noël GUÉNEAU DE MUSSY; t. I. Paris, A. Delahaye, 1874; in-8°.

*Station agronomique du Nord. Bulletin des analyses effectuées pour l'agriculture; par* M. CORENWINDER; 5e série, nos 41 à 60. Lille, Castiaux-Richez, 1873; br. in-8°. (Extrait des *Archives du Comice agricole de Lille.*)

*Station agronomique du Nord. Expériences sur la culture des betteraves avec les engrais chimiques. Rapport par* M. CORENWINDER. Lille, Castiaux-Richez, 1874; br. in-8°. (Extrait des *Archives du Comice agricole de l'arrondissement de Lille.*)

*Recherches chimiques sur la végétation* (suite). *De la soude dans les végétaux; par* M. B. CORENWINDER. Lille, imp. Danel, 1874; br. in-8°.

*Note sur quelques faits de la structure des chaînes centrales des Alpes; par* M. Ch. LORY. Genève, 1874; br. in-8°. (Tiré des *Archives des Sciences de la Bibliothèque universelle.*)

*Journal de voyage. Paris à Jérusalem*, 1839 *et* 1840; *par* J.-B. MOROT; 2e édition. Paris, J. Claye, 1873; in-8°, relié.

*L'année scientifique et industrielle; par* M. L. FIGUIER, 1873. Paris, Hachette et Cie, 1874; in-12.

*L'électro-vigile ou moyen d'aviser les tentatives de vol et le commencement d'incendie; par* LANZILLO-VINCENT, traduit de l'italien par J. VIANO. Turin, imp. de *l'Union typographique éditrice*, 1874; in-4°.

*Annuaire du Lycée juridique de Demidoff;* t. V. Yaroslav, 1874; in-8°. (En langue russe.)

*Zpravy spolku chenukuv ceskych rediguje professor* V. SAFARIK; rocnik II, sesit I, V. Praze, 1874; in-8°.

DIAMILLA-MULLER. *Sulla probabile connessione tra le ecclissi del Sole ed il magnetismo terrestre.* Milano, 1874; in-12. (Estratto dalla *Gazzetta di Milano.*)

*Sulla possibile connessione tra le ecclissi di Sole ed il magnetismo terrestre;* Memoria del P. P.-Francesco DENZA, barnabita. Roma, tip. delle Scienze matematiche e fisiche, 1873; in-4°. (Présenté par M. Ch. Sainte-Claire Deville.)

---

## *ERRATA.*

(Séance du 9 mars 1874.)

Page 667, 1re ligne, *au lieu de* deux fonctions, *lisez* six fonctions.